



Naturalis

Repositorio Institucional

<http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar>

Universidad Nacional de La Plata

Facultad de Ciencias Naturales y Museo



Comportamiento hidrológico de las dunas costeras en el sector nororiental de la provincia de Buenos Aires

Carretero, Silvina

Doctor en Ciencias Naturales

Dirección: Kruse, Eduardo

Co-dirección: Tejada Tejada, Macarena

Facultad de Ciencias Naturales y Museo

2011

Acceso en:

<http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar/id/20120126001048>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional



Naturalis

Repositorio Institucional
FCNyM - UNLP

**Facultad de Ciencias Naturales y Museo
Universidad Nacional de La Plata**

**COMPORTAMIENTO HIDROLOGICO DE LAS DUNAS COSTERAS EN EL
SECTOR NORORIENTAL DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES**

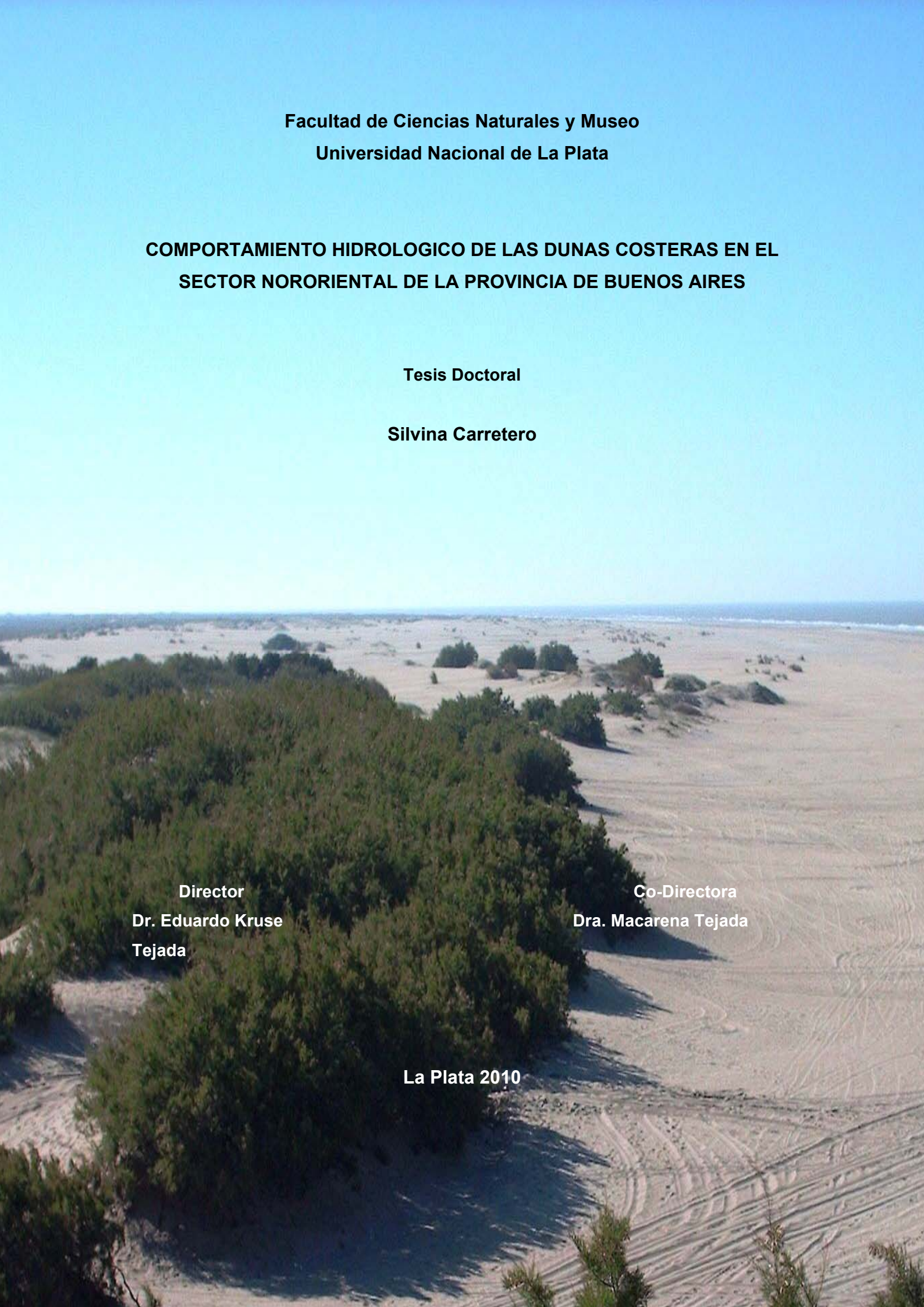
Tesis Doctoral

Silvina Carretero

**Director
Dr. Eduardo Kruse
Tejada**

**Co-Directora
Dra. Macarena Tejada**

La Plata 2010



A mi familia y amigos

AGRADECIMIENTOS

A la Cooperativa de Obras Sanitarias de San Clemente de Tuyú: integrantes de la Comisión Directiva, personal administrativo y del sector Agua y Planta por el apoyo en tareas de campo y, logística en general, durante el transcurso de la ejecución de esta tesis.

A la Dra. Cristina Dapeña por sus correcciones en la interpretación isotópica.

A la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de La Plata por la colaboración en la campaña de geoeléctrica realizada.

A mis compañeros de la Cátedra de Hidrología General.

A mis Directores.

Y a todos aquellos que de alguna manera han colaborado durante estos años de formación.

INDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	4
1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. Marco teórico	7
1.2. Área de estudio	10
1.3. Objetivos e hipótesis	11
2. MATERIALES Y MÉTODOS	13
2.1. Recopilación bibliográfica	13
2.2. Cartografía e imágenes satelitales	13
2.3. Sistema de Información Geográfica (SIG)	19
2.4. Usos del suelo	20
2.5. Análisis de variables meteorológicas	20
2.6. Red de monitoreo, censos de perforaciones y muestreos	22
2.7. Balances hídricos y análisis de los niveles freáticos	27
2.8. Hidroquímica	29
2.9. Isotopía	31
2.10. Geomorfología	31
2.11. Campo de bombeo	32
2.12. Evolución de la población	32
2.13. Geoelectrica	32
3. HIDROLOGÍA REGIONAL	36
3.1 Geología	36
3.1.1. Aspectos regionales	36
3.1.2. Evolución geológica costera	42
3.1.3. Estratigrafía Pleistoceno - Holoceno	47
3.2. Rasgos geomorfológicos	51
3.3. Suelos	55
3.4. Condiciones climáticas	57
3.4.1. Caracterización general	57
3.4.2. Balance hídrico	64
3.5. Caracterización hidrogeológica	66
3.5.1. Unidades hidrogeológicas	66
3.5.2. Acuífero freático	68
3.5.3. Complejo Acuífero Semiconfinado	71
4. CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS EN SAN CLEMENTE DEL TUYÚ	75
4.1. Hidrogeología	75
4.2. Ambientes geomorfológicos	86
4.3. Usos del suelo	101
4.3.1. Evolución de la población	101
4.3.2. Evolución territorial	102
4.4. Hidrometeorología	109
4.4.1. Precipitaciones	109
4.4.3 Humedad relativa	114
4.4.4. Presión atmosférica	116
4.4.5. Balance hídrico	119

5. HIDRODINAMICA SUBTERRANEA	121
5.1. Flujo subterráneo	121
5.2. Profundidad de niveles freáticos	123
5.3. Evolución temporal (1976-2006)	124
5.4. Fluctuaciones de los niveles freáticos (2007- 2010)	126
5.6. Variaciones areales	130
5.7. Relación variaciones del nivel freático - precipitaciones	131
6. MODIFICACIONES DEL CICLO HIDROLÓGICO	136
6.1. Variabilidad (1976-2006)	136
6.2. Variabilidad (2006-2007)	139
6.3. Respuesta del nivel freático a un evento de precipitaciones máximas	142
7. HIDROQUÍMICA E ISÓTOPOS	149
7.1. Caracterización hidroquímica	149
7.1.1. Variaciones químicas temporales	151
7.1.2. Influencia en la salinidad de agua de un evento de tormenta	156
7.2. Uso del agua	157
7.3. Caracterización isotópica	163
7.3.1. Isótopos estables Oxígeno y Deuterio, generalidades.	163
7.3.2. Aporte de deuterio y oxígeno a las aguas subterráneas	165
7.3.3. Isótopos Estables (Deuterio y Oxígeno-18) en el acuífero costero de San Clemente del Tuyú	167
8. EXPLOTACION DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	178
9. DISCUSIÓN	190
10. CONCLUSIONES	192
11. RECOMENDACIONES	195
12. BIBLIOGRAFIA CITADA	196

RESUMEN

El agua subterránea almacenada en las dunas costeras del sector nororiental de la Provincia de Buenos Aires es la única fuente natural de agua dulce para abastecimiento a poblaciones. La actividad del hombre en la zona costera generalmente induce a cambios en la ubicación y/o extensión de las áreas de recarga y descarga subterránea.

La zona estudiada (San Clemente del Tuyú, Partido de la Costa) está constituida por dunas o médanos que conforman un cordón paralelo a la costa donde se acumulan lentes de agua dulce limitados hacia el oeste por el agua salobre de la llanura deprimida y hacia el este por el agua de mar. El crecimiento poblacional, asociado a cambios en el uso del suelo y a un significativo aumento turístico da lugar a modificaciones en el ciclo hidrológico.

El objetivo fue reconocer los factores hidrológicos que influyen en el comportamiento actual de las aguas subterráneas en la costa arenosa oriental de la Provincia de Buenos Aires. Ello resulta básico para fijar criterios de manejo sustentable del recurso.

Para abordar este problema se consideraron las características hidrológicas regionales, y a partir de éstas se analizaron casos particulares para efectuar un análisis local y detallado de los factores básicos e influyentes que permitan cumplir con el objetivo planteado.

Las actividades desarrolladas incluyeron tareas de campo, gabinete y laboratorio. Se incluyó una etapa de recopilación bibliográfica nacional e internacional, el estudio cartográfico y de imágenes satelitales, así como la generación de un mapa topográfico a escala 1:25000. El análisis de la evolución morfológica y cambios en el uso del suelo, permitió determinar que las variaciones en la superficie del médano están relacionadas con la urbanización, destacándose la importancia de ello con las posibilidades de infiltración.

Se diferenció un sistema geohidrológico somero y otro profundo. La caracterización y análisis de mayor detalle corresponde al somero, que aloja lentes de agua dulce y está directamente relacionado con el ciclo hidrológico actual. Para el profundo se carece de datos y sólo es posible definirlo como un sistema de baja permeabilidad que incluye algunos niveles arenosos que contienen agua de alta salinidad y se localiza por debajo de los 92 m de profundidad.

El espesor de la lente de agua dulce en el sector central del área de estudio varía entre 4 y 10 m aumentando su potencia de norte a sur y disminuyendo hacia el este hasta la interfase con el agua salada marina y al oeste donde lo hace con el agua salobre continental. Los datos geofísicos constituyen un elemento más que permite verificar el esquema hidrogeológico

Se efectuó el análisis de variables meteorológicas a escala regional y local. Se reconoce una homogeneidad regional, con una precipitación media anual del orden de los 1000 mm, donde el mayor porcentaje ocurre de octubre a marzo. La temperatura media anual es de 14,6 °C, la humedad relativa promedio es del 85 % y la frecuencia de vientos es muy variable, aunque la dirección del este es predominante.

Se instaló una red de monitoreo de 43 pozos distribuidos. Se llevaron a cabo relevamientos de los niveles freáticos con periodicidad mensual entre noviembre de 2007 y julio de 2010. Los resultados facilitaron la elaboración de mapas isofreáticos, de isoprofundidad e isovariaciones utilizando la herramienta SIG, junto con correcciones y ajustes manuales de acuerdo a interpretación propia y conocimiento del sistema. Los mapas de flujo subterráneo indican, como generalidad, un área elevada en la morfología freática en coincidencia con la parte central y de mayor altura del cordón costero, constituyendo la zona de predominio de recarga de las aguas subterráneas. La descarga se manifiesta en dos direcciones opuestas, una hacia el mar al este y la otra hacia la llanura deprimida al oeste.

En base a los mapas de isovariación y los gráficos de fluctuaciones se detectó que la elevación en los niveles freáticos se da cuando las precipitaciones acumuladas entre las fechas de relevamientos (mensual) son superiores a 60 mm. En cambio, a nivel diario se pudo definir que los ascensos del agua subterránea se manifiestan con lluvias superiores a 30 mm.

Se reconoce una relación entre el comportamiento freático y los excesos de agua. Los años con mayores excesos se reflejan en un aumento generalizado de los niveles, aunque existen diferencias según se trate de la zona medanosa o del área urbana. Existe un rápido ascenso de los niveles como respuesta a los excesos de las precipitaciones o, en caso contrario, un descenso marcado ante la falta de aportes en épocas de déficit hídrico.

Se definieron áreas de uso de suelo que se diferencian en cuanto al comportamiento ante la recarga. Así en el área caracterizada por un suelo medanoso con escasa vegetación los ascensos de los niveles freáticos pueden ser 3 veces superiores a los del sector urbanizado.

Se diferenciaron las características del agua en el cordón costero que son bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas con tenores relativamente homogéneos de baja salinidad (< 1500 mg/L), en general aptas para consumo humano a excepción de elevados contenidos de hierro y manganeso. La llanura deprimida, de alta salinidad, presenta una fuerte heterogeneidad areal con aguas de tipo cloruradas y/o sulfatadas magnésicas, no aptas para la bebida. Los datos químicos elaborados permiten reconocer que la calidad del agua en los dos ambientes geomorfológicos descriptos está influenciada por distintos procesos hidrológicos.

En algunos sectores la composición isotópica es similar al promedio de las precipitaciones y en otros, se exhibe una composición de lluvias individuales muy empobrecidas que se infiltran rápidamente, alcanzando el nivel freático sin modificaciones. Además, esta herramienta combinada con los parámetros químicos ha posibilitado corroborar que no existe un avance de la intrusión salina al este del médano. Se ha comprobado la mezcla del agua dulce freática con el agua salobre de la llanura deprimida hacia el oeste del médano. Las diferencias entre los resultados sugieren que se trata de un sistema dinámico, en donde el agua subterránea refleja la importancia de la recarga en el médano.

El abastecimiento de agua potable a la localidad se realiza a partir de un campo de bombeo, situado fuera de la zona urbanizada. La explotación se realiza a través de un sistema de pozos Ranney y un sistema Wellpoint situados en el cordón costero. La profundidad de extracción oscila entre 4 y 6 m. Se observa un descenso de los niveles freáticos a lo largo del tiempo, y un cono de depresión en el campo de bombeo. Es necesario aumentar la producción para abastecer a un mayor número de habitantes y a la creciente demanda turística. Las pautas de manejo deben incluir la selección de nuevas áreas de captación, lo cual requerirá una cuantificación detallada de los ingresos y egresos de agua al sistema hidrológico. Se recomienda una explotación areal, siendo necesario declarar a las áreas de captación como zonas de reserva para conservar las áreas de recarga y evitar toda posible contaminación del agua subterránea.

ABSTRACT

The only fresh water source available to the population in the Northeastern region of Buenos Aires province is the coastal dunes. Human activity in coastal areas generally leads to changes in the location and/or extension in groundwater recharge and discharge areas.

The study area (San Clemente del Tuyú, Partido de la Costa) it is located in a fringe of coastal dunes where the fresh water lens is limited by two interfaces: brackish water - fresh water to the continent (west) and fresh water- salt water to the sea (east). Population growth and an increase in tourist activity associated with land-use change, produce modifications in the hydrological cycle.

The aim was to recognize the hydrological factors that influence in the groundwater current behavior at the Buenos Aires northeastern sandy coast. This is necessary to set up the sustainable resource management criteria.

The regional hydrological characteristics were taken into account to solve the problem. Local and detailed cases were determined to analyze the basic and influent factors that would allow fulfilling the proposed aim.

Field work, office and laboratory activities were developed. There was a national and international bibliographic compilation. Cartographic and satellite imageries analysis with the construction of a 1:25000 scale topographic map were included. Morphological evolution and land-use changes analysis has allowed determining how the variations in the dunes area were related to the urbanization and population rise. This is important to verify the relationship between the dune state and infiltration possibilities.

A shallow and a deep geohydrological system were distinguished. The detailed characterization and analysis correspond to the shallow one that contains fresh water lenses and it is directly related to the current hydrological cycle. The deep system is lacking in data therefore it is only possible to define it as a low permeability system that includes some sand levels with high salinity and it is located from 92 m depth.

The fresh water lens thickness, in the central sector of the study area, varies between 4 and 10 m increasing from north to south and decreasing to the east towards the sea salt water interface and to the west, towards the continental brackish water.

Geophysical data is another element that permits the hydrogeological sketch verification.

A regional and local meteorological variables analysis was made. A regional homogeneity was recognized, with 1000 mm average annual rainfall where the greater percentage occurs from October to March. The average annual temperature is 14,6 ° C, the average of relative humidity is 85% and the frequency of winds varies greatly, although the east direction is somewhat more predominant.

A monitoring network with 43 distributed wells was installed. Monthly phreatic level surveys were carried out between November 2007 and July 2010. The results provided the isophreatic, isodepth and isovariation maps construction using a GIS tool, with manual adjustment and corrections according to personal interpretation and knowledge of the system. The groundwater flux maps show, generally, a high area in the phreatic morphology which coincides with the central and the highest part of the coastal dune that is the main groundwater recharge zone. The discharge takes place in two opposing directions, to the east towards the sea and to the west towards the continental plain.

Based on isovariation maps and fluctuation graphs it was determined that the rise in the phreatic level occurs when accumulated precipitation between surveys (monthly) is greater than 60 mm. However, in a daily measure it was defined that groundwater level rise occurs with precipitation greater than 30 mm.

A relationship between phreatic level behavior and water surplus was recognized. The years with greater water surplus are reflected in a generalized water level rise, although there are differences depending on whether it is a dune or urban area. A quick response following the recharge from the water surplus as a result of the rains can be observed, or otherwise a decrease due the lack of precipitation in hydric deficit periods.

Land-use areas with different behavior before the recharge were defined. In the area characterized by a sandy soil with scarce vegetation, phreatic level rise can be three times greater than in the urbanized sector.

The coastal dunes water are characterized by relatively homogeneous low salinity values (< 1500 mg/L) with Calcium-Magnesium-Bicarbonate water which would be suitable for human consumption if it were not for the high concentration of iron and manganese. The continental plain presents a strong areal heterogeneity with Magnesium-Chloride-Sulphate water not fit for drinking. The chemical data make it

possible to recognize that water quality in the geomorphological environments described is influenced by different hydrological processes.

In some sectors the isotopic composition is similar to average precipitation and in others, an impoverished isotopic value in individual rainfall composition is shown reaching the phreatic level without modifications. Although this tool combined with chemical parameters made it possible to corroborate the lack of salt water intrusion at the dune eastern part. The mix between the fresh water and the continental plain brackish water at the western sector has been proved. The differences between the results suggest that it is a dynamic system where the groundwater shows the importance of the recharge in the dunes.

The city's drinking water supply is acquired from a pumping field located outside the urbanized area. The water exploitation is accomplished through the use of horizontal wells Ranney type and Wellpoint systems situated in the coastal dune. The extraction depth varies between 4 m and 6 m. A phreatic's levels general tendency towards deepening in time and a cone of depression were observed in the pumping field. It is necessary to increase the drinking water supply to cover the needs of a greater number of inhabitants. The management guidelines should include the selection of new exploitation areas, including a detailed water input and output quantification of the hydrological system. It is also recommended an areal exploitation at scarce depth, and it is fundamental that the areas of use are declared reservation areas to conserve the recharge areas and to avoid all possible contamination of the groundwater.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Marco teórico

A nivel internacional, las regiones costeras son zonas de vital relevancia tanto por la población que albergan como por las actividades económicas que en ellas se desarrollan (European Commission, 2001). La concentración humana en una estrecha franja costera genera una fuerte modificación en el funcionamiento tanto del sistema aguas subterráneas como superficiales.

El hombre ha vivido en las costas por milenios utilizando sus principales recursos para su supervivencia y beneficio socio-económico. La región costera es el área donde se desarrolla el 25 % de la producción global y provee al 70% de la industria pesquera. Alrededor del 50% de la población mundial vive en este dominio relativamente pequeño, pero altamente productivo, que ocupa el 12% de la superficie de la Tierra (Crossland, et al., 2005). La densidad de la población costera varía dramáticamente a lo largo de las diferentes regiones, y existe una tendencia general de la población a trasladarse desde el continente hacia la costa. La riqueza y diversidad de los recursos encontrados en las áreas costeras han sido reconocidas por el hombre durante mucho tiempo y en consecuencia ha existido una alta concentración de las actividades humanas y asentamientos en las líneas de costa y estuarios de todo el mundo a lo largo de la historia. Queda claro que esta región continuará siendo el sustento de una gran proporción de la población, tanto para los que viven ahí, como para los del interior del continente (Satkunas, 2008). La zona costera es, por lo tanto, un activo valioso para la población mundial. El uso sustentable y la protección de las áreas costeras de la Tierra son un ítem importante en todas las agendas internacionales. La aparición de organismos internacionales como la Convención de las Naciones Unidas sobre el derecho del mar (CNUDM), la Agenda 21 de Río, la Convención sobre los humedales, biodiversidad y desertificación, etc., proveen un importante mecanismo para el manejo costero.

Los acuíferos costeros tienen ciertas características que los hacen especialmente relevantes desde el punto de vista de la génesis y el funcionamiento de los espacios naturales litorales relacionados con ellos. Son la principal, y muchas veces única, fuente de agua dulce para abastecimiento a poblaciones, industrias y áreas agrícolas. Originan, y mantienen, medios naturales donde abundan los

humedales o formaciones palustres. Suelen ser medios de elevado dinamismo morfológico, especialmente las franjas costeras donde es frecuente encontrar formaciones tales como cordones litorales, trenes de dunas activas, médanos y acantilados, áreas de marisma mareal o fluvial, lagunas salobres y dulces, etc. en permanente evolución. Ello ocasiona cambios morfológicos (los de menor escala, perceptibles a escala temporal humana) que generalmente inducen cambios en la configuración de las redes de flujo hídrico superficial y subterránea: ubicación y/o extensión de las zonas de recarga y descarga del acuífero, cuantía de ambos términos, trazado y caudales de los cauces, etc. (Manzano, 2002)

Los cambios hidrológicos naturales o inducidos por la acción del hombre y sus variaciones han comenzado a tener una alta significación en la disponibilidad de los recursos hídricos (Sivapalan, 2003), siendo ello de una gran importancia en las regiones costeras.

En ocasiones no resulta muy claro cuál será el alcance de los cambios recientes (antropogénicos) sobre los acuíferos costeros en los efectos a largo plazo debido a que la distribución actual del agua dulce y salada subterránea muchas veces refleja las condiciones ambientales iniciales de formación (Post, 2005).

El recurso aguas subterráneas es utilizado para el abastecimiento de agua potable debido a muchas de sus ventajas, como presentar generalmente una alta calidad, pequeñas variaciones estacionales, bajos costos en el almacenamiento y su fácil explotación

El desarrollo sustentable en el uso de los recursos subterráneos requiere que la extracción no supere a la recarga. La sobreexplotación del agua subterránea se ha estudiado, por ejemplo, en China, Oriente Medio, norte de África, Arabia Saudita y USA donde el nivel estático se ha deprimido de una manera alarmante (Backman et al., 2007). A pesar de la creciente demanda de agua potable, su explotación debe enfrentar ciertas dificultades. Las zonas costeras tienen una distribución natural con interfases de agua dulce, salobre y salada que es el resultado de una historia geológica reciente (Cuaternario), que permanece en un equilibrio dinámico. Las altas tasas de extracción tienden a reducir el potencial piezométrico, influenciando el patrón general del flujo subterráneo y el balance hídrico del área. La distribución entre la calidad del agua dulce y salada y el potencial hidráulico son particularmente importantes en estos ambientes. En las peores circunstancias, la extracción debe ser suspendida cuando un fenómeno de intrusión salina ha ocurrido y alcanzado la zona de explotación (Vandenbohede et al., 2008).

El problema es particularmente serio donde el rápido crecimiento de la población y las actividades económicas incrementan la necesidad de un mayor abastecimiento de agua dulce proveniente de la extracción de agua subterránea. (Trabelsi et al., 2007). Esta tendencia, junto con una disminución en la recarga, aumento de la extracción y la consecuente contaminación del agua dulce con la salada es un tema preocupante en las áreas de costa. (Appleyard, 1995; Lambrakis, 1998; Cox, 1996, Lerner y Barrett, 1996; Calvache y Pulido-Bosh, 1997; Yang et al., 1999; Batrak, 2008; Eiswirth y Hötzl, 2004; Kruse et al., 2004; Drangert y Cronin, 2004; Lerner, 2002; Deluchi et al., 2006; Sailer y Gat, 2007; Belyaev, 2007; Choi et al., 2005; García-Soldado et al., 2008; Jiao y Ding, 2008; Meeroff et al., 2008)

La intrusión salina es un problema ambiental ampliamente extendido en muchos acuíferos costeros del mundo (Panagopoulos et al., 2004; Kallioras et al., 2006; Lee y Song, 2007; Abou Zakhem y Hafez, 2007; Barazzuoli, et al., 2008; El Yaouti et al., 2009)

En Sudamérica existe un grado variable en cuanto al conocimiento y manejo práctico de los acuíferos costeros cuya problemática está relacionada en calidad y cantidad con áreas densamente pobladas que apuntan a un desarrollo no sustentable del recurso (Bocanegra et al., 2010).

En Argentina, el caso más conocido es el de Mar del Plata, donde la sobreexplotación se ha manifestado con pozos salinizados desde 1971 (Ruíz Huidobro y Tofalo, 1975), especialmente en la zona céntrica. (Mérida, 2002)

En la actualidad, la intrusión salina es producto de una sobreexplotación y mal manejo del recurso, pero existe un riesgo potencial, a escala global, debido al aumento generalizado del nivel del mar consecuencia del cambio climático. Procesos de erosión costera, inundaciones, tormentas, y alteración en los rangos de marea, producirían intrusión salina en estuarios y acuíferos costeros, afectando su morfología y calidad. (Syvitski et al., 2005). Asimismo las variaciones meteorológicas asociadas afectarían la dinámica litoral, modificando las precipitaciones y la evapotranspiración por efecto de la temperatura, en consecuencia cambiarían los valores de recarga de los acuíferos y con ellos la distribución de la piezometría en la zona litoral y la posición de la cuña salina (Kruse y Mas-Pla, 2009)

1.2. Área de estudio

La zona a estudiar se ubica en la costa oriental de la Provincia de Buenos Aires, específicamente abarca a la localidad de San Clemente del Tuyú, en el Partido de la Costa, provincia de Buenos Aires, (36° 22' Lat S, 56° 44' Long O) localizada en la punta norte del Cabo de San Antonio (Figura 1.1). Esta región está constituida por dunas o médanos * que conforman un cordón paralelo a la costa donde se acumulan lentes de agua dulce limitados hacia el oeste por el agua salobre de la llanura continental y hacia el este por el agua de mar.

En el contexto geológico regional, se corresponde con el flanco sur de la provincia geológica Cuenca del Salado, cuya evolución en la región costera durante el Pleistoceno-Holoceno estuvo vinculada a las oscilaciones glacioeustáticas. La alternancia de períodos glaciales e interglaciales produjo las regresiones-transgresiones que modelaron el sustrato por erosión y superpuso nuevos sedimentos litorales (Violante y Parker, 2000). Este ambiente estudiado, desde un punto de vista hidrogeológico corresponde a la Región Costera (González, 2005).

La población permanente es del orden de 15.000 habitantes, presentando la región un importante desarrollo turístico, con una alta actividad en la época estival que puede multiplicar por 5 dicha cantidad. La aparición de nuevas ofertas de turismo en la zona, produce un aporte constante en el resto del año pero por cortos periodos de estadía.

La región se caracteriza por su crecimiento poblacional en general y por un significativo aumento turístico que da lugar a modificaciones en el ciclo hidrológico, particularmente en el comportamiento de las aguas subterráneas. Entre los efectos de las actividades antrópicas se destacan la sobreexplotación de los acuíferos y el peligro de contaminación que significan riesgos generalizados en toda el área con un serio compromiso del recurso agua.

En las zonas urbanizadas se pueden observar fenómenos deplesivos por sobrebombeo con avance del frente salino. Otros elementos que afectan el esquema hidrológico son la urbanización, el arrasamiento de médanos y la práctica frecuente de forestación (CFI, 1990b; González Arzac et al., 1992).

* Los términos duna y médano se consideran sinónimos

Además debe tenerse en cuenta que la vulnerabilidad de las lentes de agua dulce a la contaminación es muy alta, y las reservas aprovechables para el abastecimiento a la población pueden verse disminuidas debido al riesgo de contaminación especialmente relacionado con los aportes de nitratos en los sitios urbanizados. (Hernández, 2005; Pousa et al., 2007)

Los problemas descriptos y la necesidad de una gestión sustentable de los recursos hídricos, llevan a reconocer la necesidad de avanzar en el conocimiento científico de aspectos hidrológicos globales, con una visión interactiva entre las distintas variables intervinientes en el recurso agua. Para ello resulta imprescindible un conocimiento global a escala regional del ciclo hidrológico, para posteriormente efectuar estudios a escala de mayor detalle con el fin de desarrollar y mejorar la generación de información, que permita validar modelos de funcionamiento más completos y desarrollar nuevas hipótesis (Dozier, 1992).

Existen estudios de carácter regional en el área, que tienen más de 20 años y otros locales con más de 30. El aumento de la población estable, más la producida en época estival demandan un mayor abastecimiento de agua potable y la única fuente disponible en el área es un acuífero freático de escaso espesor. El crecimiento de las ciudades costeras bonaerenses, con todo lo que ello implica, no es ajeno a las problemáticas descriptas previamente. En vistas de la presente situación, resulta de gran importancia llevar a cabo un estudio hidrogeológico actualizado que incluya los desafíos a los que se enfrenta la región en el siglo XXI.

1.3. Objetivos e hipótesis

El objetivo general es reconocer los factores hidrológicos que influyen en el comportamiento de las aguas subterráneas en la costa arenosa oriental de la Provincia de Buenos Aires. Ello resulta básico para fijar criterios de manejo sustentable del recurso agua.

Para cumplir con el objetivo general se presentan los siguientes objetivos específicos:

- Definir las características hidrodinámicas e hidroquímicas de las aguas subterráneas, en condiciones naturales y antrópicas.

Se postula que en general en condiciones naturales, las dunas costeras constituyen reservorios lentiformes de agua dulce cuyo volumen está fuertemente influenciado por las posibilidades de infiltración de los excesos de agua del balance hidrológico. La

actividad antrópica puede modificar esta situación a través de la urbanización, sobreexplotación o de la descarga de efluentes, vertidos, etc. Ello puede provocar una disminución en las magnitudes de las reservas y el deterioro de la calidad química del agua subterránea por la influencia de agua salinizada o contaminada.

- Reconocer la evolución de las aguas subterráneas de acuerdo al crecimiento socio – económico de la zona y a su variabilidad climática.

Se plantea que en esta región costera, con excesos de agua en el balance hídrico, los procesos de recarga, explotación y riesgos de contaminación de las aguas subterráneas son factores condicionantes para definir las posibilidades futuras de abastecimiento de agua.

- Identificar factores hidrológicos que proporcionen una información simplificada acerca del estado actual y tendencias futuras del sistema de aguas subterráneas,

Se postula que, dada la complejidad de la información que es necesario manejar, la definición y valoración de procesos hidrológicos en un área costera facilita la planificación y gestión del recurso agua.

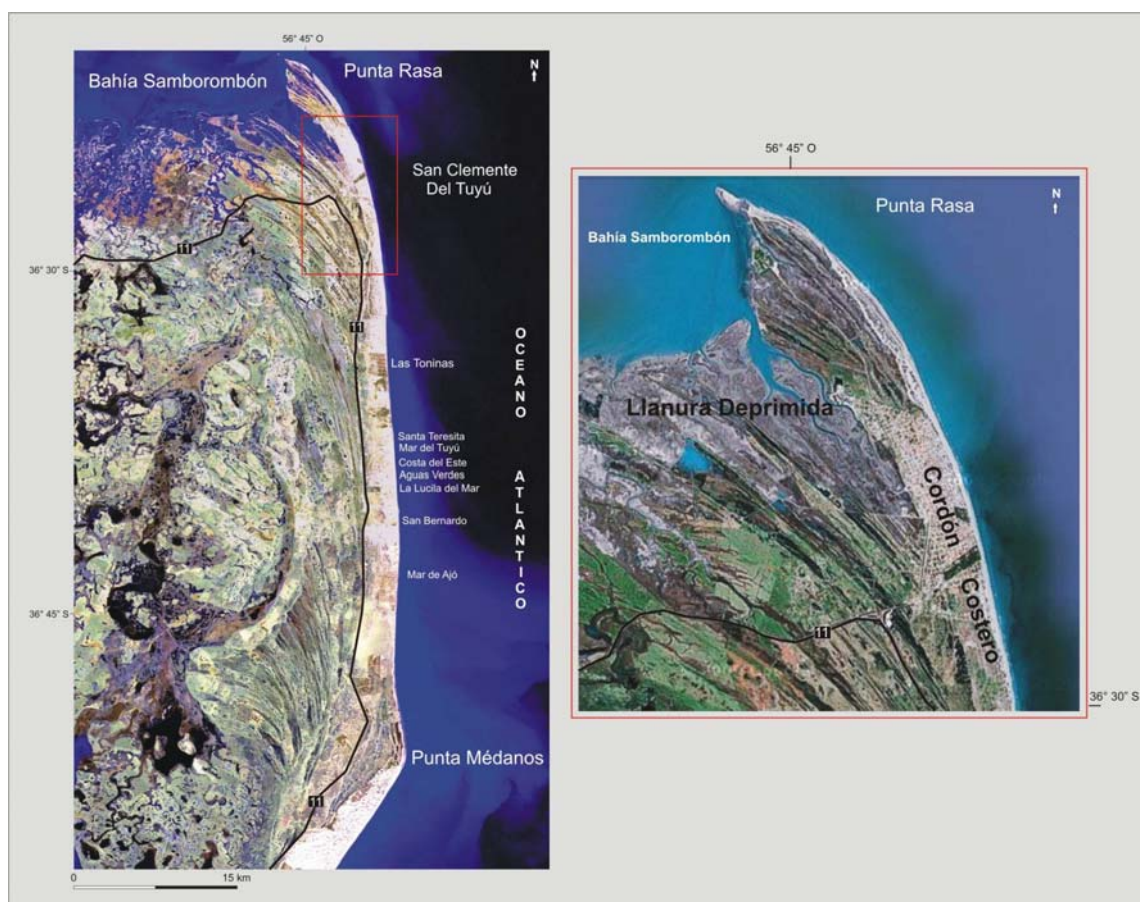


Figura 1.1. Mapa de ubicación

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para abordar los problemas planteados se consideraron las características hidrológicas regionales, y a partir de éstas se investigaron casos particulares para efectuar un análisis local y detallado de los factores básicos e influyentes que conduzcan a un manejo sostenible de los recursos hídricos.

Las actividades desarrolladas incluyeron tareas de campo, gabinete y laboratorio.

2.1. Recopilación bibliográfica

Para el desarrollo de temas tales como la geología, geomorfología e hidrogeología regional, se han consultado numerosas y variadas fuentes de información, las cuales han sido utilizadas como base y serán citadas al realizarse la referencia en el texto. La información geológica que data desde el siglo pasado fue relevada y consultada como así también los autores contemporáneos.

Por otra parte, la bibliografía internacional sobre la temática de acuíferos costeros, interfase agua dulce-agua salada, intrusión salina, métodos de explotación en acuíferos freáticos de poco espesor, recarga, antropización, entre otros, ha sido considerada como referencia siendo mencionada en el desarrollo la tesis.

Específicamente en el aspecto hidrogeológico para el área de estudio, se han considerado los trabajos realizados por Sala et al., (1979), CFI (1989a, 1989b, 1990a, 1990b), Girardi (1984), y Ministerio de Obras y Servicios Públicos de la Provincia de Buenos Aires (MOSP, 1985) los cuales han servido de punto de partida y comparación con el estado actual.

2.2. Cartografía e imágenes satelitales

Para un primer reconocimiento regional, se utilizó cartografía del IGM correspondiente a las Hojas topográficas San Clemente del Tuyú 3757-10-2 y 4-4 y, General Lavalle 3757-10-1 y 4-3 a escala 1:50000 (Figura 2.1), y carta imagen 3757-10 y 4 a escala 1:100000 correspondientes a Santa Teresita.

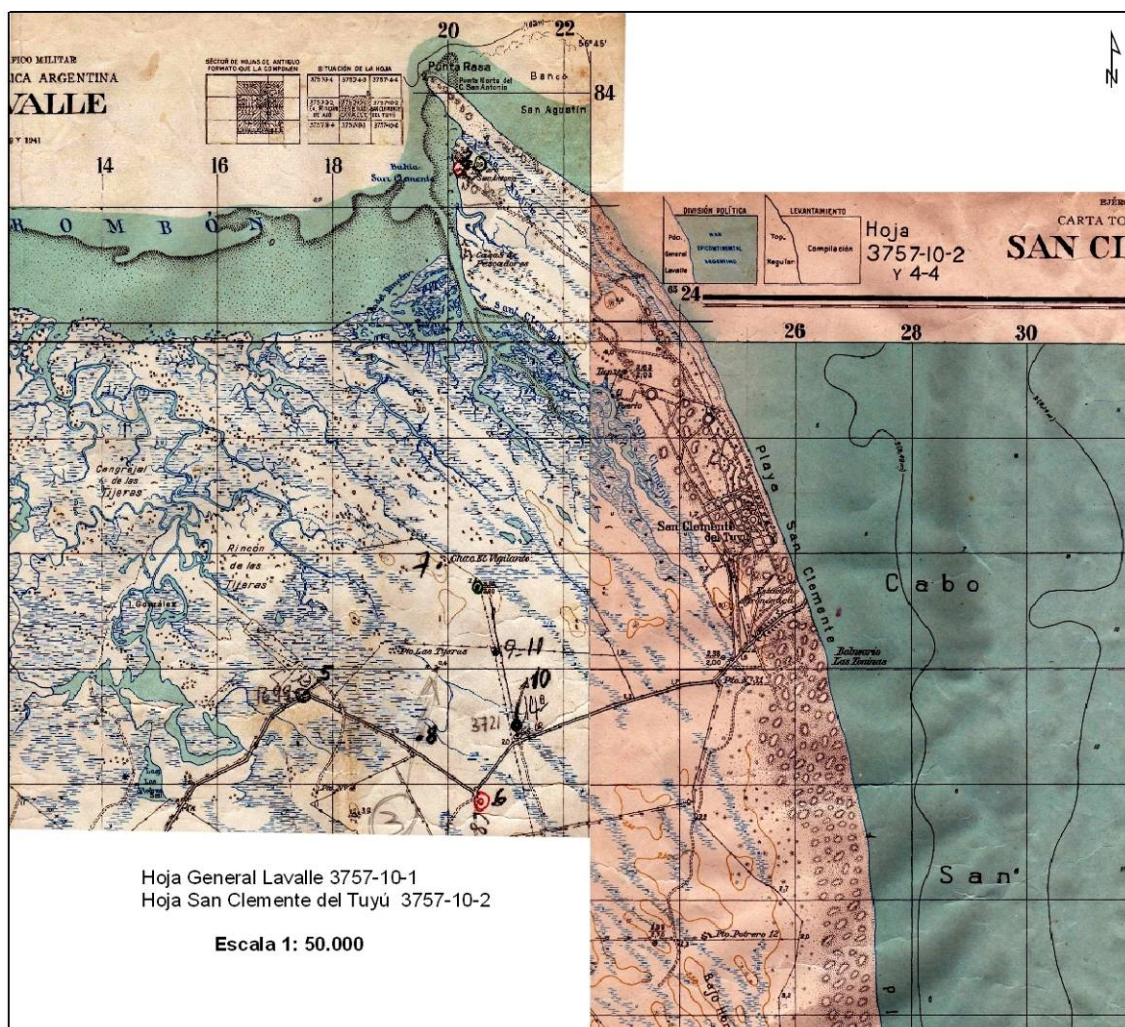


Figura 2.1. Cartas topográficas utilizadas para el reconocimiento del área de estudio

A una escala de mayor detalle, se analizaron fotografías aéreas del año 1958 del Servicio de Hidrografía Naval (Figura 2.2), y 1984 del Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires (Figura 2.3) junto a una imagen satelital de 2005, perteneciente a Digital Globe, Google Earth (Figura 2.4). Las cartas, fotos e imágenes fueron georeferenciadas utilizando un Sistema de Información Geográfica.

Debido a la ausencia de cartografía preexistente a una escala apropiada se planteó la necesidad de la construcción de un mapa base, para cuya ejecución se tomó la imagen de 2005 y se digitalizó el plano de la ciudad (Figura 2.5). La hoja topográfica disponible no representaba la distribución actual de la localidad, ni el detalle de las curvas de nivel necesarios para plantear una geomorfología a nivel local, por esa razón se debió elaborar un mapa topográfico a una escala adecuada para el desarrollo del trabajo.

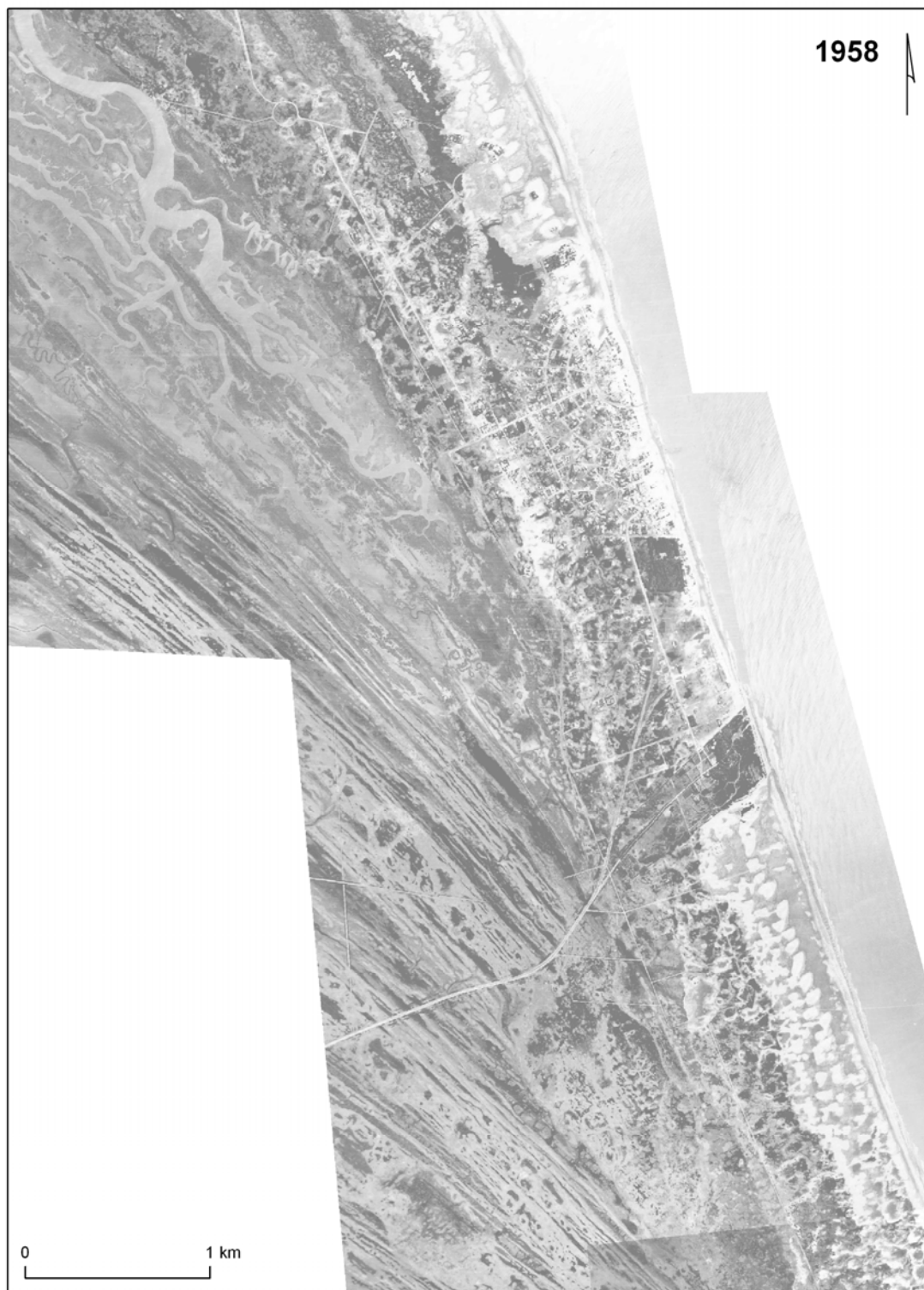


Figura 2.2. Fotografía aérea para el año 1958



Figura 2.3. Fotografía aérea para el año 1984



Figura 2.4. Imagen satelital para el año 2005

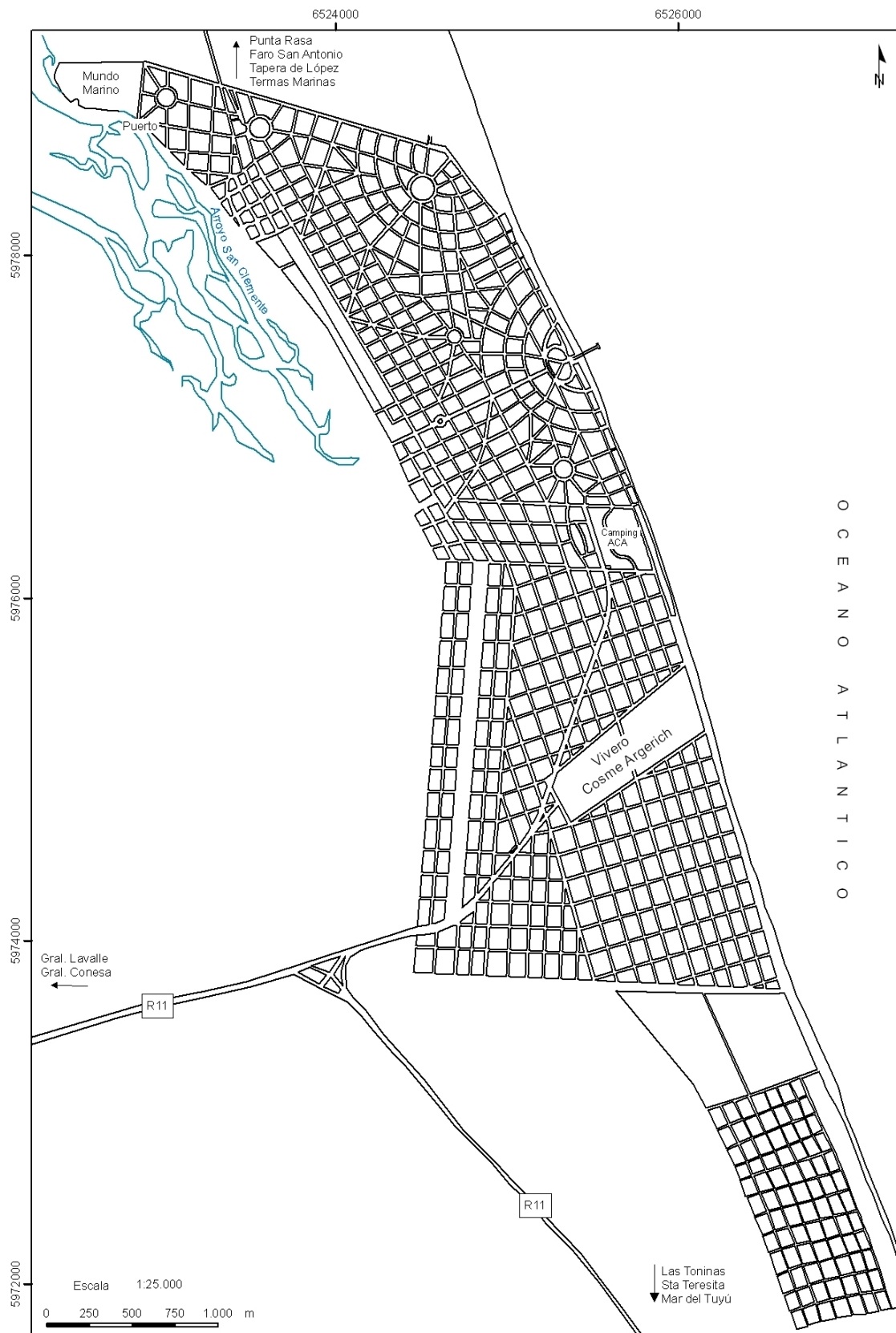


Figura 2.5. Mapa base

2.3. Sistema de Información Geográfica (SIG)

Se postula que el manejo de la información obtenida con la tecnología de un Sistema de Información Geográfica (S.I.G) constituye una herramienta valiosa para la evaluación de datos, lo cual favorece la resolución de problemas relacionados a los distintos usos que puede destinarse el agua disponible en el área. Se debe señalar que un SIG se caracteriza por incluir un conjunto de herramientas diseñadas para reunir, almacenar, recuperar y desplegar datos espaciales para satisfacer un conjunto específico de objetivos. Los datos se convierten a información digital con el fin de obtener un producto cartográfico, realizar un análisis espacial y ayudar a la toma de decisiones (Peña Llopis, 2005).

En este trabajo, la confección de un solo mapa base no era suficiente, ya que se contaba con información histórica antecedente confiable, y se pretendía realizar un análisis comparativo espacio-temporal. Por lo tanto se elaboró un mapa para cada año en función de las fotografías aéreas de 1958, 1984 e imagen satelital de 2005. Cada set de imágenes fue georeferenciada, y se volcaron los puntos correspondientes a cada relevamiento con sus coordenadas geográficas junto a las tablas de base de datos asociadas, previamente confeccionadas.

La interpolación de datos hidrodinámicos e hidroquímicos para obtener mapas de curvas de igual valor se realizó mediante la operación del SIG a partir de la metodología de tipo vecino próximo, por tratarse de la que mejor representa el comportamiento de las variables en la región. Posteriormente, los mapas se han corregido manualmente y realizado ajustes de acuerdo a interpretación propia y conocimiento del sistema. Según el objetivo planteado se llevó a cabo una reclasificación de acuerdo a las necesidades de cada análisis, obteniéndose mapas isofreáticos y de isotenores químicos. Con otras herramientas de análisis espacial se han realizado operaciones entre mapas resultando mapas de isovariaciones de niveles freáticos para distintas fechas. Se procedió de igual manera con los valores de química.

Se ha realizado un análisis de la distribución territorial, para lo cual se han digitalizado diferentes zonas de acuerdo a las características observadas en las fotos, imágenes y trabajo de campo.

Para el estudio de la evolución geomorfológica de los médanos y del avance de la urbanización, se han establecido áreas digitalizadas sobre las fotos de los mapas base en los diversos años estudiados.

2.4. Usos del suelo

A partir de relevamientos de campo y del análisis visual de las fotografías aéreas e imágenes satelitales, se plantearon tres casos de distribución de uso del suelo, con un sector constituido por suelo arenoso con escasa urbanización y presencia de espacios verdes (Zona 1), otro por suelo arenoso con escasa vegetación (Zona 2), y un tercero en las zonas densamente urbanizadas y con calles asfaltadas (Zona 3), reconociéndose la evolución que han manifestado a través del tiempo y su relación con el ciclo hidrológico. En algunas interpretaciones también se utilizó un mapa de distribución territorial para 1976 perteneciente al trabajo de Sala et al., (1979).

Se ha empleado la herramienta SIG digitalizando cada zona previamente identificada mediante la observación visual. Se han calculado las áreas que ocupaba cada sector manifestando un cambio en la distribución del uso del suelo.

2.5. Análisis de variables meteorológicas

Se analizaron datos de precipitaciones diarias de San Clemente del Tuyú (2002–2009) pertenecientes a un pluviómetro de la Cooperativa de Obras Sanitarias de San Clemente (COS) localizado en el sector sur de la localidad y de la estación del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) Santa Teresita (1989–2007), verificándose la similitud y consistencia, mediante un análisis de doble masa. La mayor extensión de la serie de precipitaciones del SMN en la última localidad ha llevado a seleccionar estos datos para la elaboración de los balances hídricos. La estación Santa Teresita quedó fuera de servicio a partir de 2007 y para el análisis de los balances, a partir de ese año, se tomaron los de COS. Debido a que el periodo de datos de Santa Teresita es insuficiente para reconocer la tendencia regional de las precipitaciones, se han seleccionado las estaciones más cercanas con registros históricos adecuados, que son Dolores y Punta Indio (1925-2008), con condiciones climáticas similares a la estudiada, para dicho análisis.

En noviembre de 2007 se han puesto en funcionamiento dos estaciones meteorológicas en la localidad. Una perteneciente a la Cooperativa de Obras Sanitarias de San Clemente y colocada en su sede de calle III y 15, denominada SC-2 Sede. La otra se ubica en la Planta 2 cita en Av. III entre 73 y 74, pertenece a la

Cátedra de Hidrología General de la FCNyM y se identifica como SC-1 Planta2 (Figura 2.6). Cada estación automática es un equipo que contiene instrumentos y sensores para medir distintas variables meteorológicas: lluvia, temperatura, presión, humedad y viento en la estación ubicada en la Sede y lluvia, temperatura, humedad y profundidad de nivel freático en la Planta 2 (Figura 2.7). Se han analizado las variables en común de las dos estaciones para verificar cambios a nivel local, ya que se encuentran ubicadas a 3 km de distancia, una en la zona urbanizada y la otra en un sector descampado. Además se ha estudiado el comportamiento del nivel freático en relación con las precipitaciones, temperatura, humedad y presión. Cabe destacar que el registro es de paso horario con lo que se contó con un volumen importante de datos, seleccionándose en algunos casos, las medias diarias.

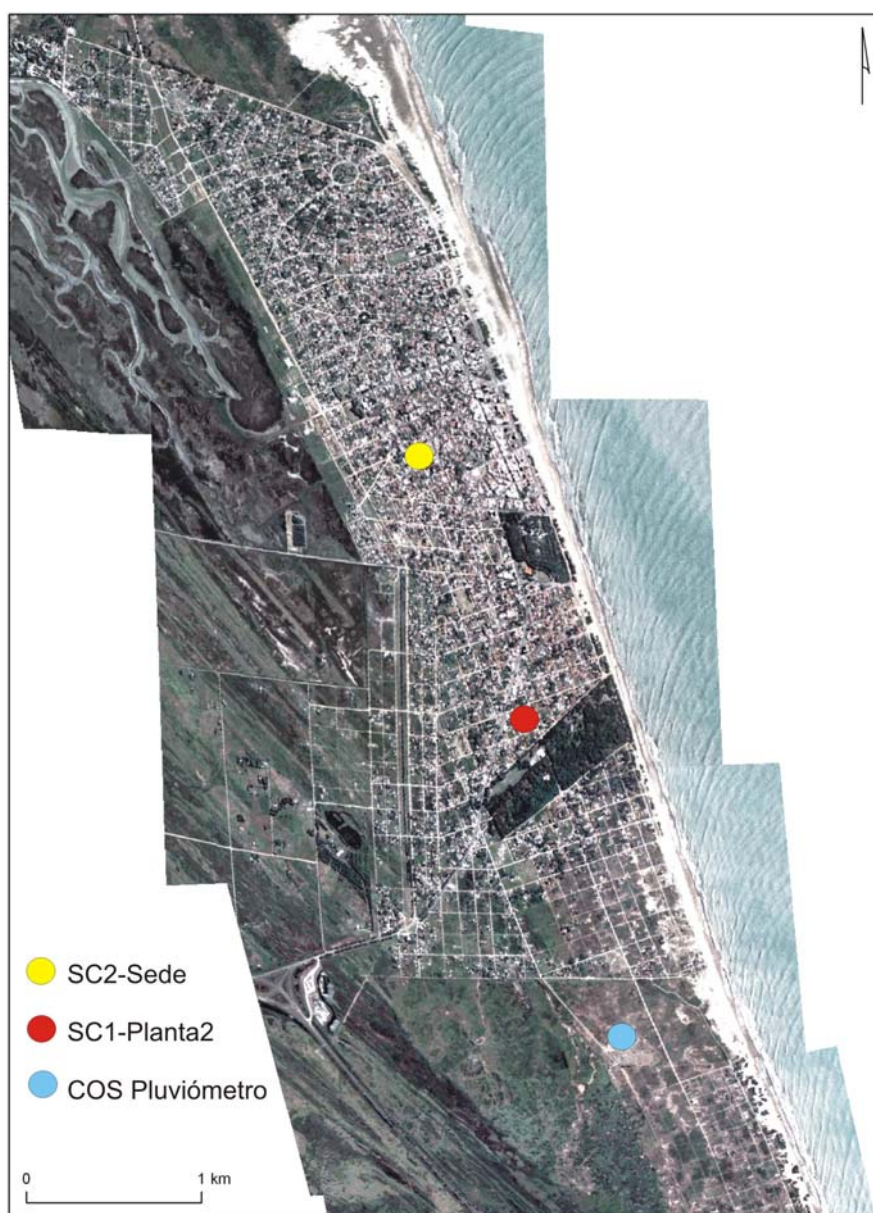


Figura 2.6. Mapa de ubicación de las estaciones meteorológicas



Figura 2.7. Estación meteorológica Planta 2. Detalle del sensor de medición de la columna de agua.

2.6. Red de monitoreo, censos de perforaciones y muestreos

En octubre de 2006 se realizó un censo en perforaciones domiciliarias existentes incluyéndose las mediciones de los niveles freáticos, muestreos y descripción de las características fundamentales de las obras de captación (Anexo 1). Las muestras fueron tomadas, luego de su purga, en pozos con bombas manuales (la mayoría fuera de uso) en domicilios particulares, donde las perforaciones oscilan entre 4 y 5 metros de profundidad (Figura 2.8).



Figura 2.8. Campaña 2006 en perforaciones domiciliarias

Se planteó la necesidad de instalación de una red de monitoreo propia debido a la inexistencia de puntos de medición en los sectores menos urbanizados y que representaban puntos de particular interés para el estudio hidrogeológico. Además, la propuesta de una frecuencia de medición de carácter mensual, hacía que la realización de los censos en propiedades privadas representara un factor que influiría negativamente en la operatividad de los mismos. Debido a lo expuesto, se instaló una red con 43 pozos que fuera construida durante 2007 representando una densidad de 3 pozos por km^2 (Figura 2.9).

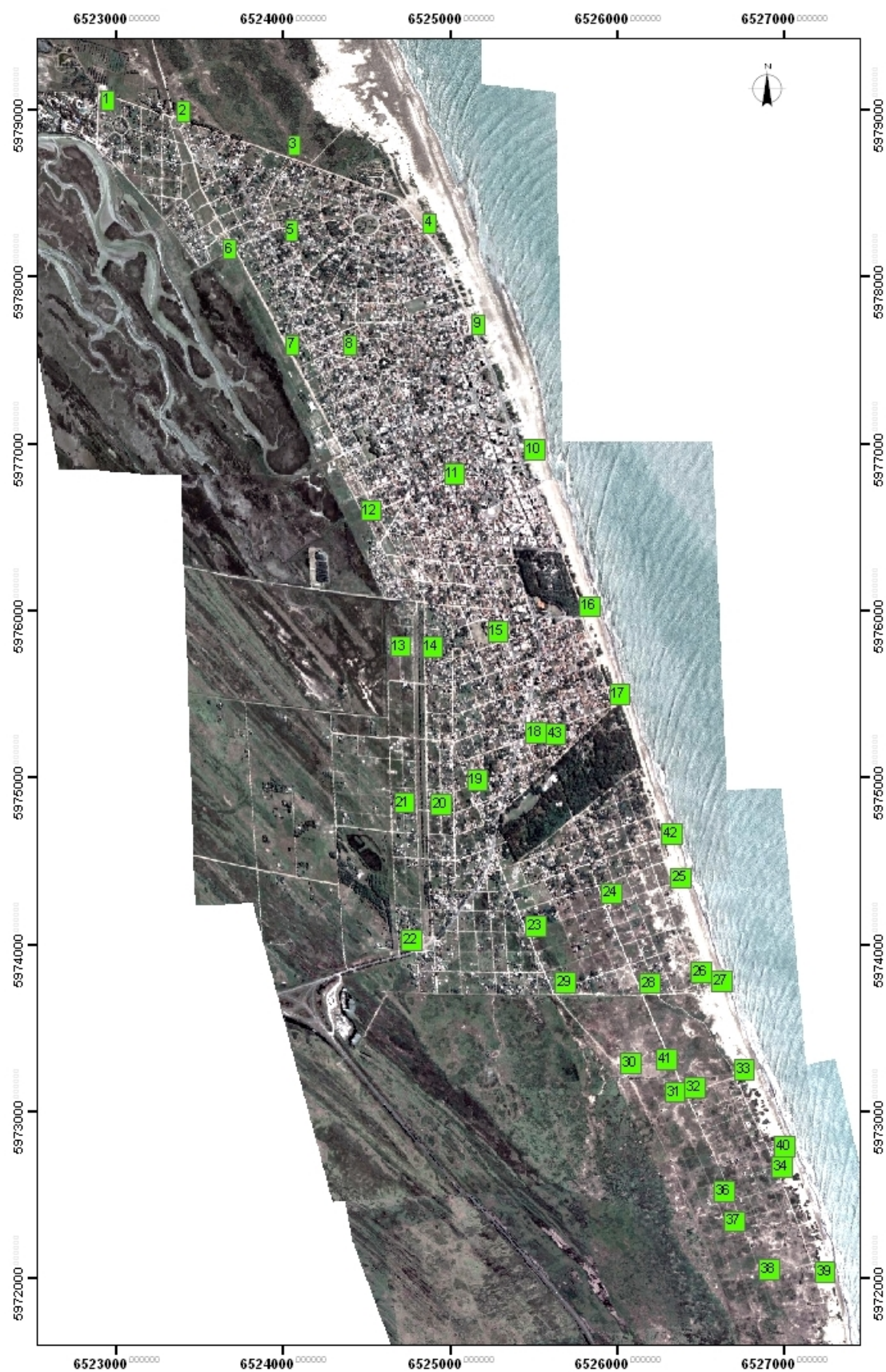


Figura 2.9. Distribución de los pozos en la red de monitoreo

Los pozos son de 3 metros de profundidad con filtros ranurados de 2" de diámetro y se encuentran distribuidos de manera equidistante a lo largo de la zona de estudio (Figura 2.10)



Figura 2.10. Colocación de los freáticos.

Una vez finalizada la ejecución de las perforaciones, se llevó a cabo la nivelación de las bocas de pozos utilizando puntos fijos altimétricos del Instituto Geográfico Militar (IGM). Se realizó una nivelación de tipo geométrica con una distancia de apreciación entre puntos de 50 m. Se utilizaron miras de madera y un nivel Pentax Automático Modelo AL-240, el cual tiene una precisión de $\pm 2,0$ mm.

A partir de la instalación de la red se efectuaron mediciones de nivel freático con periodicidad mensual (Anexo 2).

Se han recolectado muestras para análisis químicos de cationes y aniones, en julio de 2008, tomándose además mediciones de pH y conductividad de campo (Figura 2.11). En fechas posteriores se repitieron algunos muestreos para evaluar objetivos específicos. La obtención del agua subterránea fue mediante un muestreador bailer, previa purga de los pozos, la cual se llevó a cabo extrayendo el volumen de agua equivalente a 3 o 5 veces el almacenado en el pozo y tomando la muestra al día siguiente, luego de la recuperación del nivel freático (U.S. Geological Survey, 2006). El agua fue recolectada en botellas de plástico de 2 litros, tapadas y rotuladas. Las determinaciones fueron realizadas por el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria (LIS) de la UNLP. En marzo y septiembre de 2010 se midió conductividad de campo para verificar los resultados luego de una sudestada.



Figura 2.11. Mediciones de campo y toma de muestras

2.7. Balances hídricos y análisis de los niveles freáticos

Para la determinación de los excesos de agua se efectuaron balances hídricos diarios de acuerdo a los datos de precipitación disponibles y los valores de ET₀ (evapotranspiración de referencia) media diaria estimadas según el método de Penman-Monteith (FAO, 1990) utilizando el programa AGROAGUA v.5.0 (Forte Lay et al., 1995) con el que se obtuvieron E_{vp}, E_{tr}, excesos y déficit a nivel diario. El sistema requiere la configuración de ciertos parámetros para la realización de los cálculos.

De acuerdo a las características litológicas y granulométricas, para la capacidad de campo del material esencialmente arenoso se adoptó un valor medio de 160 mm por metro de profundidad, adjudicándose una profundidad efectiva para el balance de agua de 0,25 m ya que no puede alcanzar mayor profundidad el efecto de la evapotranspiración y por lo tanto una CC (capacidad de campo) de 40 mm.

Uno de los valores a considerar para la estimación de la evapotranspiración en la fórmula FAO-Penman-Monteith fue el K_c (coeficiente de cultivo o de la cobertura), para aplicar la fórmula que define a $ET_c = ET_0 * K_c$, en la cual ET_c es la evapotranspiración máxima de la cobertura.

Según FAO (1990) para el caso de suelo con escasa o nula vegetación su valor depende de varios factores como el intervalo entre eventos de humedecimiento (riegos o lluvias), el poder evaporante de la atmósfera (ET₀) y la magnitud del evento de mojado o humedecimiento.

Para el primer factor, en un suelo frecuentemente humedecido la superficie húmeda permite un valor de evaporación muy alto que incluso en algunos momentos puede superar el valor 1 (el valor de la ET_c, en este caso evaporación solamente ya que no existe la transpiración, puede superar algo al de ET₀), de manera opuesta cuando la superficie se seca el valor del K_c decrece rápidamente y por lo tanto ET_c será mucho menor que ET₀.

En cuanto al poder evaporante de la atmósfera (ET₀), cuando es mayor más rápido se seca la superficie entre eventos de humedecimiento y en consecuencia el K_c promedio del período se verá disminuido. Por último, en el caso de la magnitud del evento de mojado o humedecimiento, para lluvias más abundantes, el K_c aumenta pues es mayor el tiempo en que la superficie está mojada. Por lo tanto en este caso se hizo variar al K_c de manera que fuera más alto en invierno (ET₀ más baja) y más bajo en verano (ET₀ más alta).

A partir de FAO (1998) en un gráfico que muestra la relación entre ET_0 y K_c para distintos intervalos de mojado se dedujeron los valores de K_c mensual a lo largo del año, eligiendo como intervalo de mojado el de 4 días que se aproxima a una frecuencia de 7-8 lluvias por mes, valor que responde a las condiciones climáticas de la región. Los valores de K_c aplicados para suelo medanoso con escasa vegetación se han representado en la Figura 2.12.

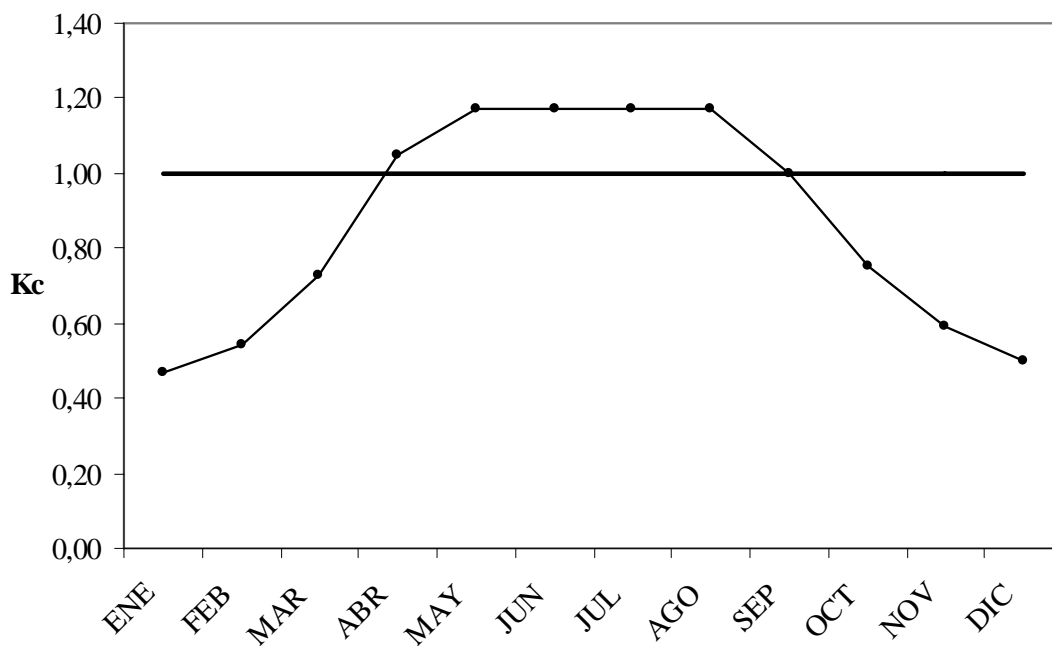


Figura 2.12. Valores de K_c para un suelo medanoso a lo largo del año

Se han elaborado balances hídricos diarios para los períodos relacionados con los relevamientos de aguas subterráneas realizados por Sala et al., (1976) en 1976 y CFI (1990b) en 1987. Posteriormente se han evaluado los efectos de las modificaciones antrópicas sobre la recarga del acuífero freático.

En general se han realizado análisis de años hidrológicos y eventos particulares siguiendo la siguiente metodología: a partir de los relevamientos de campo, que incluyen las mediciones de los niveles freáticos, se construyen mapas isofreáticos a partir de los cuales se digitaliza el área entre las curvas y se determina el volumen de agua para ese momento tomando como referencia el 0 m s.n.m. y los parámetros hidráulicos. Depende el objetivo, se consideran las áreas de uso del suelo. Se comparan los resultados de los excesos del balance hídrico con el agua disponible según el cálculo previo.

Se consideraron las variaciones de niveles freáticos 2008-2009, elaborándose balances hídricos para períodos de profundización y ascenso. Se estimaron los caudales de flujo subterráneo y de extracción para agua de consumo. Se construyeron

mapas isofreáticos mensuales para estudiar e interpretar en el espacio las fluctuaciones de los niveles de aguas subterráneas, utilizándolos como una herramienta para el seguimiento detallado de la evolución hidrodinámica del acuífero.

2.8. Hidroquímica

Se construyeron mapas de isótenores en base a los datos de los muestreos realizados en 2006 y 2008 (39 muestras) y con datos históricos de censos de perforaciones de la UNLP en enero de 1976 (Sala et al., 1976) (30 muestras) y CFI en agosto de 1987 (CFI, 1990b) (28 muestras). La distribución de los pozos censados se presenta en la Figura 2.13, donde en color celeste se ven los que han sido utilizados para el muestreo. Como puede observarse en todos los casos la distribución y la densidad de pozos es comparable.

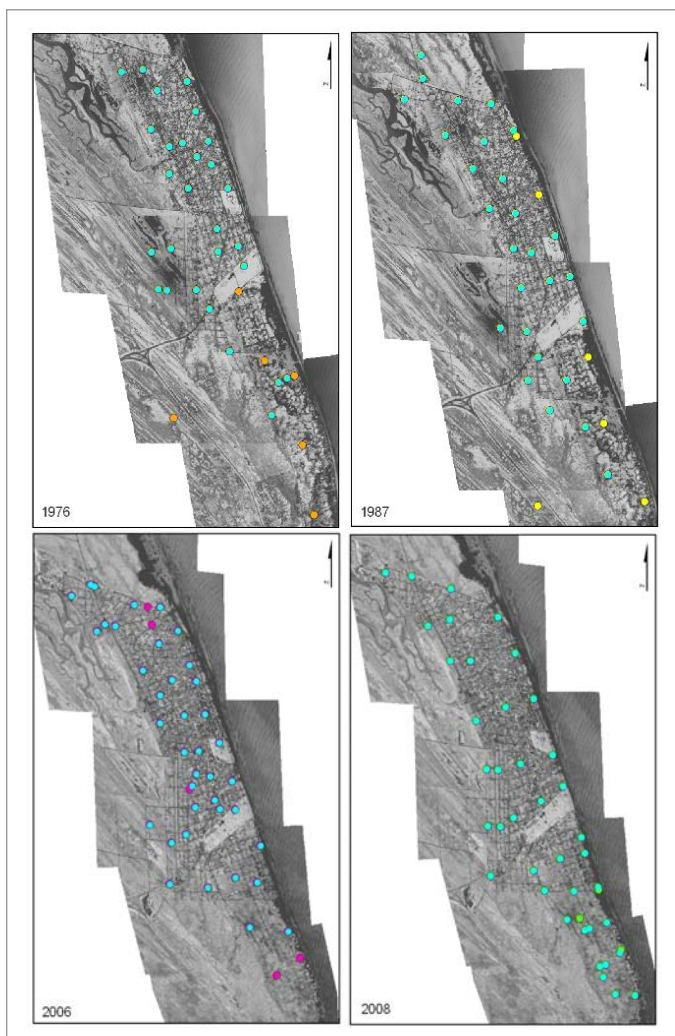


Figura 2.13. Distribución de los pozos muestreados

A partir de la utilización de un sistema SIG, se construyeron mapas de isocontenidos de los elementos disponibles: nitratos, sulfatos, hierro, cloruros, residuo seco o total de sólidos disueltos (TSD), dureza total, pH y conductividad, para cada año censado. Los datos de nitratos fueron evaluados sólo para los años 1987, 2006 y 2008, mientras que flúor, nitritos, amonio, arsénico, pertenecen a los muestreos de 2006 y 2008. Las técnicas analíticas empleadas por el LIS pueden observarse en la Tabla 2.1 y los protocolos en el Anexo 3.

Determinación	Técnica	Método
pH	Potenciométrico	SM-4500-H+
Cloruros	Argentométrico. Método Mohr	SM-4500-Cl
Dureza	EDTA Titrimétrico	SM-2340 C
Conductividad	Conductivímetro	SM-2510 B
Sulfatos	Nefelométrico	SM-4500-SO4-E
Fluoruros	Electrodo selectivo	SM-4500 F C
Amonio	Electrodo selectivo	SM-4500- NH3-D
Nitratos	Electrodo selectivo	SM-4500-NO3-D
Nitritos	Llosva von llosva	Adaptación SM-4500 NO2-
Arsénico	Dietilditiocarbamato de plata	SM-3500-As B
TSD	Gravimétrico	SM-2540 B
Hierro	Colorimétrico de la fenantrolina	SM-3500-Fe B
Manganeso	Método del Persulfato	SM-3500 M y B

Tabla 2.1. Técnicas analíticas empleadas por el LIS

Se realizó una caracterización hidroquímica de los ambientes geomorfológicos de acuerdo a los resultados de los muestreos 2006 y 2008 por ser los que presentan una mayor cantidad de parámetros químicos analizados. También se graficaron diagramas de Piper, Schoeller-Berkaloff y radiales para confirmar la relación entre la química y la geomorfología. Se evaluó el comportamiento de los elementos comunes

en muestreos disponibles para reconocer la variación de concentración a través del tiempo y su calidad para uso.

2. 9. Isotopía

En la zona de estudio, se han seleccionado 16 pozos de la red de monitoreo para la recolección de muestras (campaña julio 2009 y abril de 2010) y realización de análisis isotópicos de oxígeno-18 ($\delta^{18}\text{O}\text{‰}$) y deuterio ($\delta^2\text{H}\text{‰}$) que fueron analizadas por el Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS) en donde se miden las relaciones isotópicas del hidrógeno ($^2\text{H}/^1\text{H}$) y oxígeno ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) por medio de un espectrómetro de masas de triple colector, sistema de introducción múltiple, Finnigan MAT Delta S. Los resultados obtenidos se expresan como δ (‰) (Anexo 4). A su vez, se han separado las muestras de acuerdo a su ubicación en la morfología del médano. Los resultados de $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$ se han representado en un gráfico junto a la Línea Meteorica Local y también se ha dibujado un gráfico $\delta^2\text{H}\text{‰}$ vs cloruros para analizar la existencia o no de intrusión salina.

2.10. Geomorfología

A partir de las fotos aéreas e imagen satelital disponibles se delimitó la zona medanosa del ambiente de llanura deprimida. Posteriormente, se realizó un análisis de la evolución del médano, estableciéndose áreas y sectores en donde el cambio en la morfología del terreno es evidente, estudiándose la relación entre efectos naturales y avance de la urbanización en la zona costera.

Debido a la falta de una cartografía de detalle que abarcara la localidad de estudio a una escala de detalle, se construyó un mapa topográfico en base a los puntos acotados correspondientes a los 43 pozos de la red de monitoreo utilizándose, además, puntos auxiliares del 2006 que sirvieron para cerrar las curvas y a la interpretación geomorfológica.

2.11. Campo de bombeo

Se contó con datos de producción diaria de la planta de bombeo de la COS desde fines de 2002 hasta el presente. Se calcularon medias mensuales, anuales, caudales totales de extracción y los destinados a abastecimiento.

Se analizó el comportamiento de los niveles freáticos en ese periodo ya que la Cooperativa mantiene un registro de mediciones dentro del predio, así como la relación entre los niveles, los excesos del balance y las precipitaciones.

En la temporada veraniega 2009-2010 se instaló un registrador continuo de nivel freático (*diver*) con el propósito de analizar el comportamiento de las aguas subterráneas frente a la extracción intensiva que se realiza en esos meses. El dispositivo de marca Solinst Levellogger Gold Series, mide las variaciones de los niveles, temperatura y realiza una compensación barométrica lo cual incrementa el rendimiento y estabilidad del aparato. Presenta una resolución del 0,05%.

2.12. Evolución de la población

Se analizó la evolución territorial de la localidad de San Clemente a lo largo del tiempo, en base a la zonificación establecida y sus correspondientes áreas. Para completar el análisis se incluyeron los valores de cantidad de población del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas del INDEC correspondientes a los años 1960, 1970, 1980, 1991 y 2001. Se relacionaron los datos de producción diaria de la planta potabilizadora de agua, los cuales fueron aportados por la empresa de servicios de la localidad. A partir de los datos de la media mensual de la producción diaria para el año 2006, acompañado de la tasa de consumo por habitante y teniendo en cuenta el aporte turístico, se calculó el porcentaje de población abastecida por el campo de bombeo.

2.13. Geoeléctrica

En diciembre de 2009 se llevó a cabo una campaña de prospección geoeléctrica (Figura 2.14) con la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de La Plata quienes efectuaron las mediciones de campo, los cálculos y análisis

matemáticos correspondientes. La interpretación de los resultados fue hecha de manera conjunta.



Figura 2.14. Perfilaje en la playa

Se midieron quince (15) Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) en la modalidad Schlumberger, con espaciado del circuito de emisión (AB) máximo de 200 metros. También se volvieron a procesar los datos de la campaña de prospección geoelectrica de CFI (1989b), donde se efectuaron doce (12) SEV en la misma modalidad y formando dos perfiles E-O.

En este tipo de técnicas se materializa en el terreno un dispositivo tetrapolar, lineal y simétrico respecto de un origen. El trabajo de campo consiste en obtener una curva de resistividad aparente haciendo circular una corriente I (conmutada) por el circuito de emisión (AB) y medir la diferencia de potencial V que se genera entre los electrodos de recepción (MN). Las medidas se realizan aumentando la distancia entre los electrodos A y B (Figura 2.15).

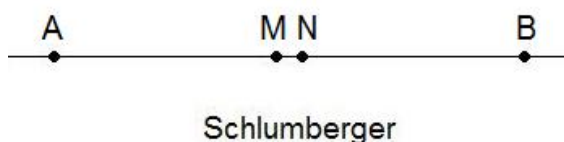


Figura 2.15 Ubicación de los electrodos en el terreno

En base a esto, se obtiene cada valor de resistividad aparente (en $\Omega.m$). El dato de campo (curva de resistividades aparentes) debe ser invertido para obtener una distribución de resistividades en profundidad que satisfaga matemáticamente la curva de respuesta observada (a menos de una banda de error experimental). Para obtener esa distribución de resistividades en profundidad (objetivo del método) se utilizan variadas técnicas matemáticas.

El instrumental de medida utilizado fue un RESPC01 (Figura 2.16) Este instrumento tiene un sistema de lectura automática y los resultados de cada lectura son promediados en forma automática.



Figura 2.16 Instrumental utilizado

Se utilizaron además carretes de 200 m. de cable, electrodos de acero inoxidable para emisión de corriente y electrodos impolarizables de $Cu-SO_4Cu$ para medir ΔV (Figura 2.17)



Figura 2.17. Electrodo de acero inoxidable para emisión de corriente

Los sondeos se realizaron en dirección paralela a la costa (N-S) y alineados en tres perfiles denominados A, B y C, de modo de poder estimar la variación en los espesores de las capas interpretadas en la dirección E-O. El procesamiento de la curvas se hizo utilizando el programa PRINTERSEV.

3. HIDROLOGÍA REGIONAL

El análisis hidrogeológico regional abarca el área que comprende la franja costera del litoral atlántico bonaerense entre Punta Rasa (36° 18' latitud sur) y Punta Médanos (36° 54' latitud sur) que se corresponden con los extremos norte y sur del Cabo San Antonio.

3.1 Geología

3.1.1. Aspectos regionales

En el contexto geológico regional, la zona en estudio se ubica en el flanco sur de la provincia geológica Cuenca del Salado (Rolleri, 1975). Esta cuenca se desarrolla entre las sierras de Tandil y el umbral de Martín García.

La cuenca del Salado es una cubeta de depositación alargada, extendida desde el extremo norte de la provincia de Buenos Aires en dirección sureste hasta penetrar en la Plataforma Continental Argentina al sureste de la Bahía de Samborombón. El relleno es de una potencia de 6000 m que se caracteriza en su porción continental por presentar según Bracaccini (1980):

- Carencia de afloramientos anteriores al Cuaternario.
- Gran desarrollo vertical de sedimento Paleozoico superior, Mesozoico y Terciario.
- La sedimentación es principalmente continental.
- Uniformidad estratigráfica.
- Evidencia de que existen procesos erosivos asociados a movimientos Triásicos y más modernos que originaron la desaparición de la secuencia Paleozoica.
- No vinculación con áreas orogénicas.
- Tendencia negativa a lo largo de la historia geológica con una mayor magnitud de hundimiento en el Mesozoico.

El origen de este importante depocentro cretácico - terciario está vinculado a procesos de fracturación extensional que tuvieron lugar sobre primitivas zonas de debilidad (fracturas basamentales transcurrentes y/o viejas zonas de sutura de preexistentes sistemas arco-fosa precámbricos - paleozoicos) rejuvenecidos durante la

apertura del Atlántico Sur en el Mesozoico tardío (Yrigoyen, 1975). Aquellas zonas de debilidad constituyeron focos de puntos triples donde se concentró el mecanismo de apertura inicial del primitivo continente de Gondwana (Figura 3.1). A medida que continuó la deriva continental y cuando la separación de las placas tomó un rumbo meridiano, algunos puntos triples, así como sus ramas occidentales se fueron desactivando. Estos brazos abortados y los abandonados centros de expansión se transformaron entonces en áreas de subsidencia con su eje orientado transversalmente al margen del pull-apart continental. Estas cuencas aulacogénicas, como la mayoría de las cuencas de tipo rift, pueden caracterizarse por una evolución tectónica y sedimentaria desarrollada cronológicamente en tres etapas distintivas: una fase prerift, una fase de rift y una fase de cuenca interior. Cada una de estas fases presenta geometrías, estilos estructurales y sucesiones estratigráficas individuales, las que son seguidas por una fase final de relleno de margen pasivo, cuando al finalizar la tectónica de rift, el nuevo borde continental del recién abierto Atlántico Sur es sepultado gradualmente por múltiples secuencias traslapantes derivadas del vecino Hinterland (Yrigoyen, 1999).

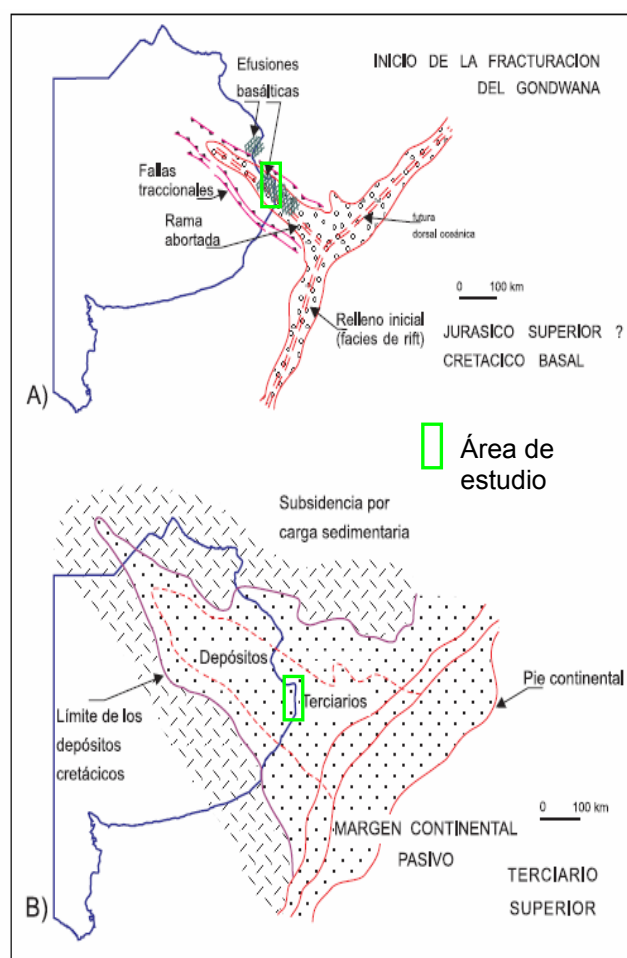


Figura 3.1. Cuenca aulacogénica del Salado (tomado de Ramos, 1999).

Se describen a continuación los estadios de evolución de la cuenca según Yrigoyen, 1999:

-Estadio prefosa (fase prerift)

Constituye el basamento sobre el que está desarrollada la cuenca del Salado. Estos terrenos se los reconoce aflorando en los bordes de la misma. En líneas generales están compuestos por metasedimentos de bajo grado, incluyendo cuarcitas y argilitas en contacto tectónico con brechas, esquistos y gneises con intrusiones de granitoides. Costa afuera estos terrenos antiguos han sido alcanzados por las perforaciones profundas realizadas sobre el alto de Martín García, en la porción externa de la cuenca donde por debajo de capas rojas neocomianas se encontraron 1140 m de lutitas negras y 483 m de diamictitas, que corresponderían a depósitos lagunares intracratónicos de edad pérmica.

-Estadio de fosa (fase rift)

Luego de un largo período de erosión, mediante una fuerte discordancia angular se depositaron sedimentos correspondientes al estadio de fosa, los que en la cuenca del Salado se inicia con las volcanitas suprajurásicas - eocretácicas del Grupo Serra Geral. Este episodio volcánico ha sido sincrónico con los primeros procesos tensionales de la deriva continental que provocaron fracturas profundas que alcanzaron las cámaras magmáticas permitiendo la efusión de lavas basálticas tholeíticas e ignimbritas. Continúa una segunda secuencia de depósitos continentales tipo red beds con tendencia grano-decreciente constituida por conglomerados, areniscas y fangolitas pardo-rojizas que rellenan los graben subsidentes. Los espesores de la secuencia del rift son variables debido a escalonamientos del fondo y a la discordancia de su techo, pudiendo superar los 3500 m en el depocentro. Los depósitos del estadio de fosa son conocidos como Formación Río Salado en la cuenca homónima asignada al Cretácico temprano. Todo el estadio de fosa se caracterizó por una fuerte convección térmica en la litósfera.

-Estadio de relleno de cuenca (fase de cuenca interior)

Al cesar el aporte calórico, la litósfera enfriada y fracturada entró en paulatina subsidencia enmarcada dentro de fosas limitadas por zonas de fallas gravitacionales reactivadas por el diastrofismo intersenoniano. Esto dio lugar a la iniciación del relleno

de cuenca subsidente con la individualización de dos litofacies características. La primera de ellas, con neto carácter de red beds, constituye la Formación General Belgrano. Si bien sus espesores varían de acuerdo a su posición dentro de cada depocentro, los valores máximos registrados son 886 m. Estos depósitos mayormente continentales se asientan sobre los sedimentos del estadio de fosa con discordancia angular bien marcada en las secciones sísmicas aunque no tan evidente en la diferenciación litológica.

La segunda litofacies del relleno de cuenca está constituida por sedimentos deltaicos y transicionales de alcance regional que tuvo lugar en el Maastrichtiano - Daniano, confirmado por su elevado contenido micro y macropaleontológico diagnóstico. Se trata de limolitas grises verdosas y arcilitas varicolores, con areniscas, yeso y anhidrita subordinadas. El espesor máximo conocido es de 1190 m para la Formación Las Chilcas.

-Estadio de margen pasivo

Completa la colmatación de las cuencas marginales una serie de secuencias tanto continentales como marinas, de disposición transgresiva - regresiva, que constituyen los depósitos característicos de un margen pasivo correspondiente a la continua expansión del fondo atlántico, que abarca todo el Cenozoico y continúa en nuestros días. Por sobre las unidades marinas de la transgresión larámica tierra adentro siguen depósitos transicionales y luego capas rojas continentales de carácter regresivo. A éstos se los conoce como Formaciones Olivos - Los Cardos ("Mioceno Rojo") conjuntos que alcanzan hasta unos 800 m de potencia y que hacia el este pasan transicionalmente a depósitos deltaicos y marinos, los que se hacen totalmente dominantes antes de alcanzar el talud continental. En el Mioceno temprano a medio se produce otro gran avance marino que, como el anterior maastrichtiano-paleoceno, vuelve a transgredir profundamente en esta parte del continente, representado por la Formación Paraná ("Mioceno Verde"), con espesores máximos registrados de 815 m. En la parte externa de la cuenca del Salado, existe un pasaje gradual entre los depósitos marinos miocenos y las unidades infrayacentes, pero acercándose hacia la costa dicha relación es de pseudo-concordancia, ya que existen claras evidencias de un episodio de fracturamiento que disloca la Formación Olivos sin llegar a afectar a la Formación Paraná que traslapa holgadamente los límites de los depósitos continentales anteriores (Yrigoyen, 1975). El proceso sedimentario cenozoico termina durante el Plioceno con acumulaciones clásticas continentales tierra adentro pero que

muestran siempre progresiva influencia marina a medida que se avanza hacia el océano.

En la cuenca del Salado se han diferenciado depósitos terrígenos pardo rojizos correlacionables con la Formación Arroyo Chasicó, pliocena inferior por su rico contenido faunístico, la que remata en el Plioceno superior con las "Arenas Puelches" conspicuo depósito de arenas cuarzosas, claras y pardo amarillentas, de pocas decenas de metros de potencia. Limos y loess del Grupo Pampa culminan la columna estratigráfica en el Cuaternario. (Figura 3.2 y 3.3)

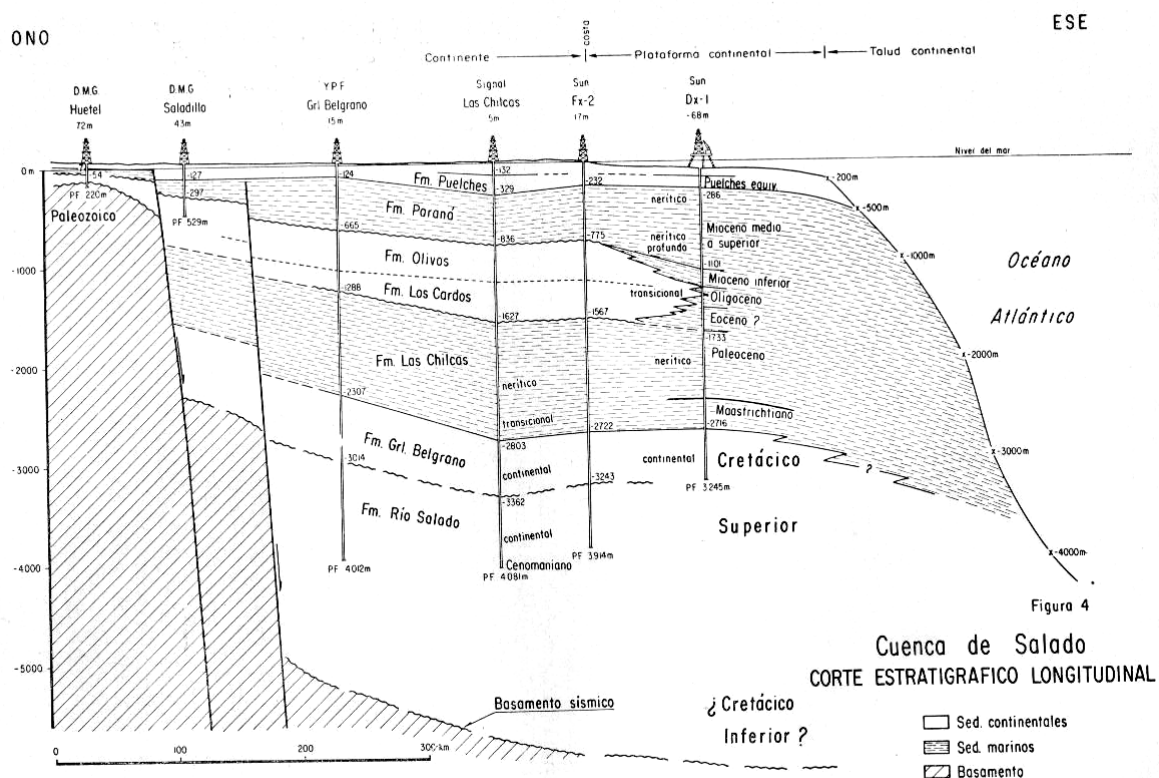


Figura 3.2. Corte estratigráfico longitudinal de la cuenca del Salado (tomado de Yrigoyen, 1975).

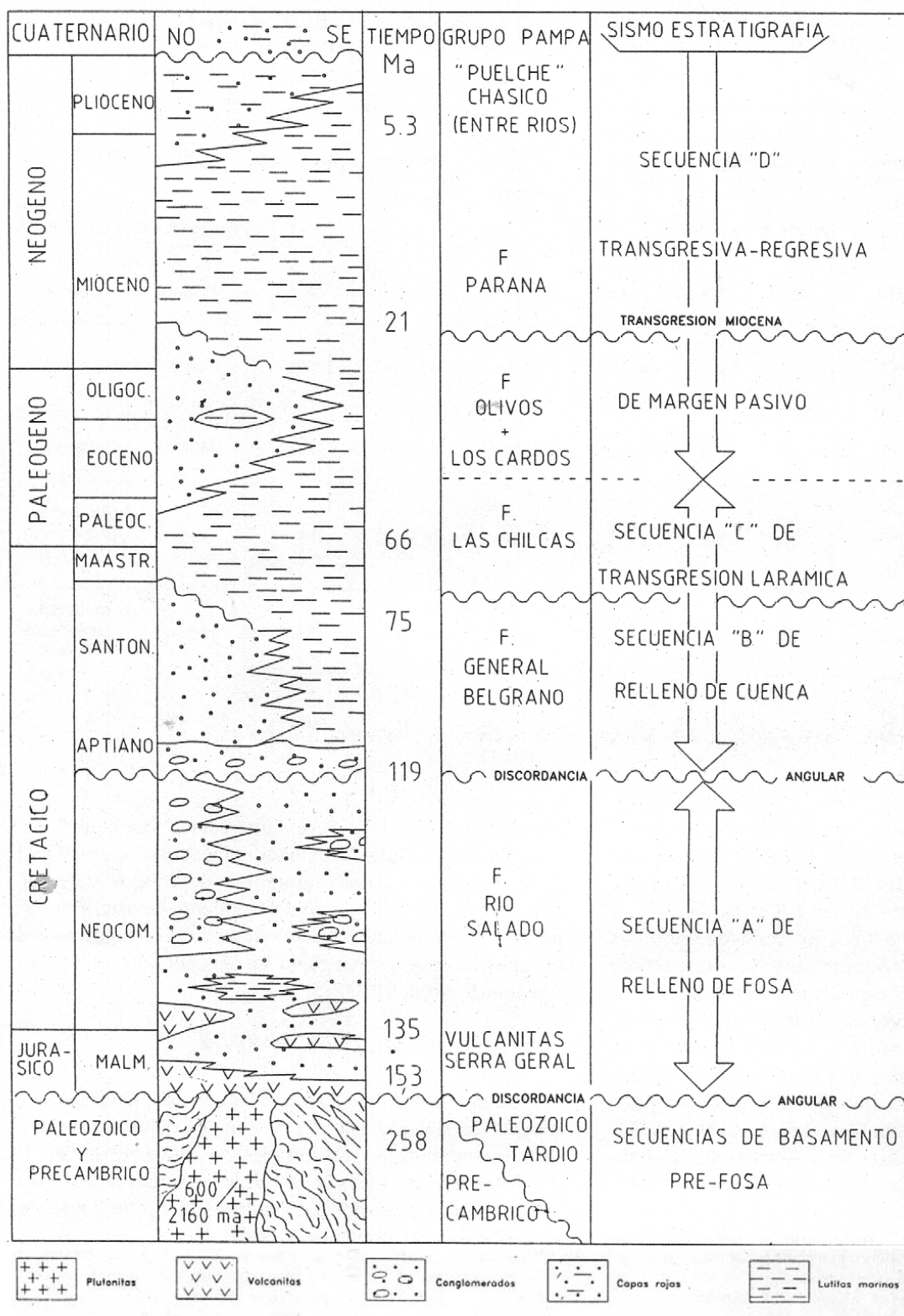


Figura 3.3. Esquema estratigráfico de la cuenca del Salado (modificado de Yrigoyen 1999)

3.1.2. Evolución geológica costera

La evolución de la llanura costera durante el Holoceno adquiere importancia en el comportamiento hidrológico regional. El tema se analizará fundamentalmente en base a Violante y Parker (2000), Violante et al. (2001) y Violante et al. (1992) que han realizados estudios detallados para el área de interés.

El Río de La Plata y la plataforma del nordeste bonaerense junto a las llanuras costeras vecinas, todas vinculadas a la depresión de la Cuenca del Salado, constituyen uno de los ámbitos geográficos argentinos más afectados por la transgresión marina que siguió a la última deglaciación, es por esto que el paquete sedimentario producto de este evento deba ser considerado como una unidad, aunque con características diferentes según los rasgos y procesos locales de cada área.

La distribución espacial y constitución litológica permiten diferenciar tres depocentros; la plataforma, el Río de La Plata y las llanuras costeras. Los sedimentos de la plataforma fueron identificados mediante métodos sísmicos. Están conformados por un manto continuo e ininterrumpido de espesor relativamente uniforme que cubre casi por completo la plataforma exterior. Su litología esta constituida por "sedimentos arenosos medianos a finos producto de la migración de ambientes de barreras litorales durante la transgresión, que fueron posteriormente remodelados y ajustados a las condiciones hidrodinámicas actuales" (Violante y Parker, 2000).

El Holoceno en el Río de La Plata conforma dos depocentros, uno inferior de carácter estuárico y composición arcillosa y otro superior que se manifiesta como un delta progradante compuesto de "sedimentos areno-limo-arcillosos que constituyen una secuencia vertical granocreciente hacia arriba y horizontalmente granocreciente hacia las áreas distales o de desembocadura".

Los depósitos de las llanuras costeras constituyen la terraza aluvial que conforma la cuña clástica costera, que se manifiesta de diferentes maneras según se relacione con el Río de La Plata o la plataforma. En las áreas adyacentes a ésta, se encuentra representada en su sección inferior por "un hem ciclo transgresivo granocreciente hacia arriba con gran acreción vertical, con facies arenosas de barrera texturalmente similares a las arenas de plataforma y por facies arcillosas de lagunas costeras. La sección superior esta representada en cambio, por sedimentos arenosos y arcillosos de playas, ambientes mareales y eólicos que conforman un hem ciclo regresivo granodecreciente hacia arriba y progradante". En las llanuras costeras adyacentes al Río de La Plata, el paquete sedimentario se vincula genéticamente a

cordones litorales asociados a la evolución del estuario. En el área de la Bahía de Samborombón, zona de transición entre los procesos actuantes en ambas llanuras costeras, los sedimentos se manifiestan con litologías uniformes, resultando en arcillas de llanura de mareas (Violante y Parker, 2000).

La evolución de las llanuras costeras del este de la provincia de Buenos Aires (Figura 3.4) según Violante et al., (2001) pueden sintetizarse en tres momentos principales: el periodo deglacial, durante el cual ocurrió el ascenso glacioeustático a una velocidad relativamente constante; la última parte de la transgresión, cuando el mar decreció su velocidad de ascenso hasta llegar a estabilizarse; y una etapa final de descenso de nivel del mar con intensa progradación costera.

Durante el primer periodo (8000-7000 a.A.P.) predominaron los procesos de deriva litoral hacia el norte con desarrollo de sistemas de barreras que se extendieron en dirección nordeste a través de la boca del Río de la Plata permaneciendo arraigadas por un lado a un rasgo costero saliente ubicado al sur como fue la paleopunta Villa Gesell, y por otro lado al Alto Marítimo localizado al norte. El Río de la Plata desaguaba en esa época bordeando la costa uruguaya hasta salir al mar a la altura del este uruguayo.

En el segundo periodo (7000-5000 a.A.P.) el nivel del mar invadió y sobrepasó el Alto Marítimo, y los procesos costeros que actuaban ahí se desplazaron rápidamente hacia la actual Punta Piedras. Simultáneamente, los sedimentos del Río de La Plata se volcaron hacia la plataforma por encima del Alto recién sumergido, llevando a la interacción entre los procesos propios de cada uno de esos ámbitos; esto trajo aparejado cambios en la deriva litoral que, alterada por el efecto de los altos de la paleopunta Villa Gesell y de Punta Piedras, generó sistemas divergentes de espigas de barreras en ambientes de mayor energía adosadas a las primera y cordones litorales de menor energía adosados a la segunda, dando lugar a la formación de células locales de circulación.

El tercer periodo (5000 a.A.P-actualidad) comenzó al iniciarse el descenso del nivel del mar y se extendió hasta la actualidad. Se destaca como evento trascendental el avance del delta hacia el sur que volcó la mayor carga sedimentaria hacia la Bahía de Samborombón. La interacción entre ese proceso y los litorales del cabo San Antonio condujo a la formación de un ámbito protegido, encerrado entre las espigas de barrera evolucionados hacia el sur, en el cual dominaron los procesos de baja energía que permitieron la depositación de los sedimentos provenientes de la plataforma y los propios del río, que junto a las condiciones dominantes de mayor energía

provenientes del sur, provocó una rápida progradación hacia el norte llevando al cerramiento progresivo de la Bahía de Samborombón hasta llegar a su presente configuración.

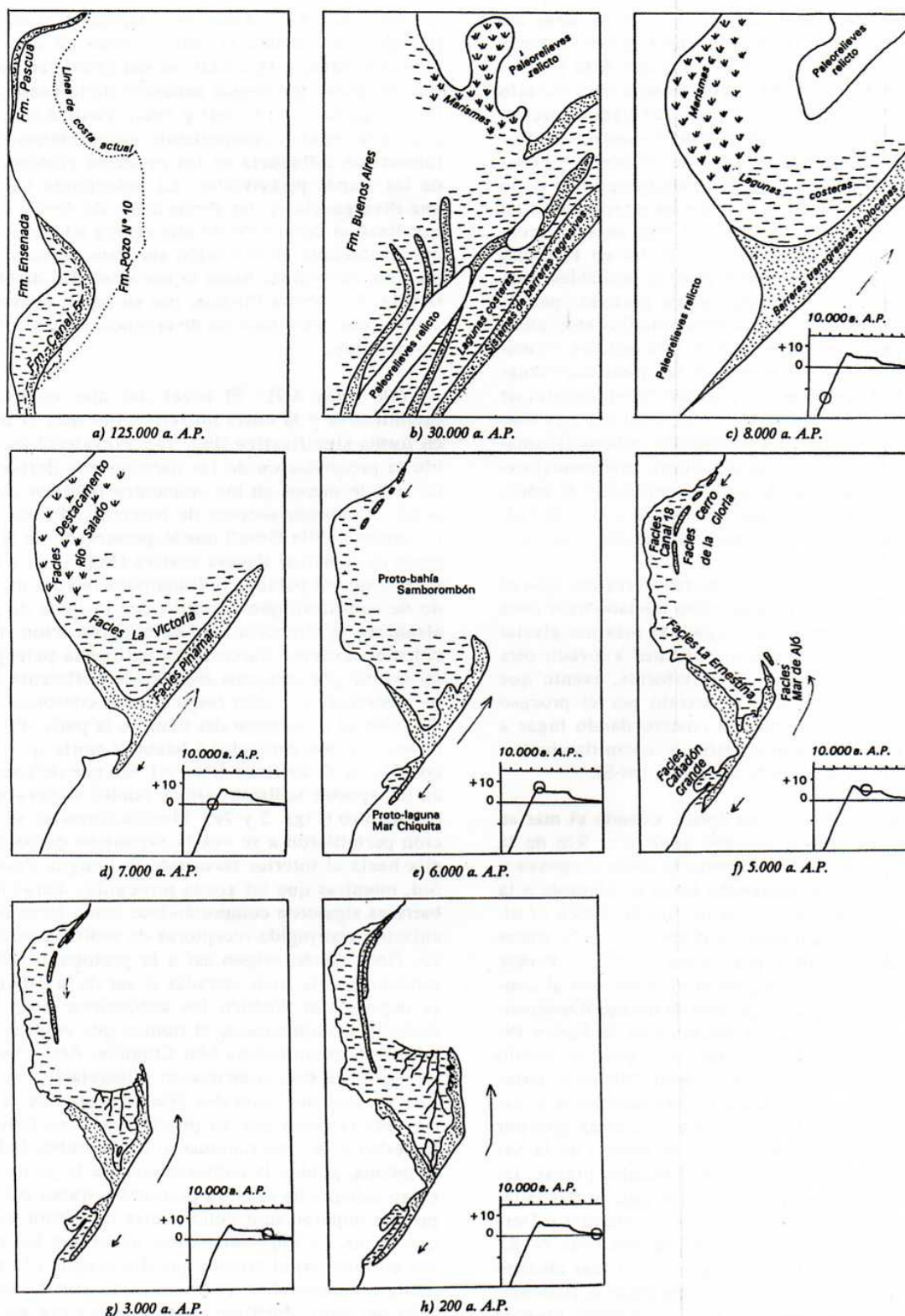


Figura 3.4. Esquema evolutivo de la región a partir del Pleistoceno tardío (Violante et al., 2001)

El conjunto de depósitos holocenos de la región constituye una *secuencia depositacional* (Violante et al.1992) que comprende a todos los ambientes sedimentarios interrelacionados entre si formados por procesos vinculados a la transgresión marina ocurrida a partir del ultimo máximo glacial, que se extiende desde la parte superior del delta del Paraná hasta la emersión continental. Los términos Holoceno y transgresión holocena deberían ser equivalentes y abarcar todo el evento transgresivo que sin solución de continuidad transcurrió durante los últimos 18.000 a 20.000 años.

Los ambientes que conforman la secuencia depositacional se formaron en respuesta a un proceso de transgresión y otro de regresión, cuyos registros geológicos reflejan la ocurrencia de estos eventos constituyendo *cortejos sedimentarios*, uno transgresivo y otro de nivel alto. Los ambientes de sedimentación individuales dentro de cada cortejo son los *sistemas depositacionales* (Violante y Parker, 2000 op. cit.)

El cortejo *sedimentario transgresivo* esta integrado por tres *sistemas depositacionales*, (Figura 3.5) de los cuales el único que se extiende en el subsuelo de las llanuras costeras es el *sistema depositacional de barreras litorales*, que incluye los ambientes de barrera propiamente dicha, playas, albuferas y llanuras de mareas. Por su parte, en la plataforma interior se desarrolla un *sistema depositacional litoral relictos* formado por el manto arenoso remanente de los sucesivos sistemas de barrera que migraron durante la transgresion holocena y, en el ambiente del Río de La Plata, lo hace el *sistema depositacional estuárico*, caracterizado por la presencia de sedimentos arcillosos depositados durante los periodos en que el río se mantuvo separado del mar abierto por el Alto Marítimo.

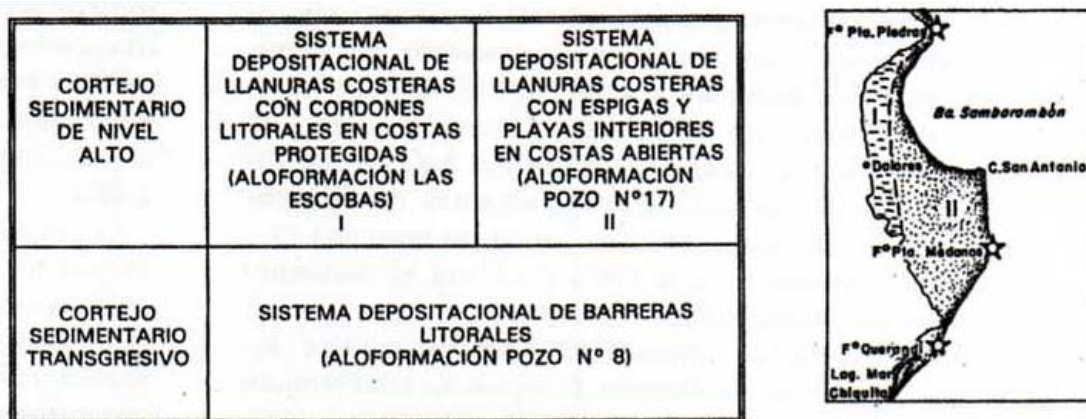


Figura 3.5. Cuadro estratigráfico modificado de Parker y Violante, 1993. Tomado de Violante et al. (2001)

El *cortejo sedimentario de nivel alto* esta integrado por todos aquellos sistemas depositacionales evolucionados durante las etapas finales de la transgresión holocena y las correspondientes al evento regresivo progradante subsiguiente. En las llanuras costeras se encuentra el *sistema depositacional de cordones litorales en costas protegidas* en las costas del Río de La Plata incluida la Bahía de Samborombón; en regiones adyacentes se hallan el *sistema depositacional deltaico*, desarrollado en el Río de la Plata, y el *sistema depositacional de plataforma*, formado en las áreas sumergidas a partir del remodelado de las arenas relictos del Holoceno transgresivo

Los cortes estratigráficos para diferentes sectores de la región pueden verse en la Figura 3.6.

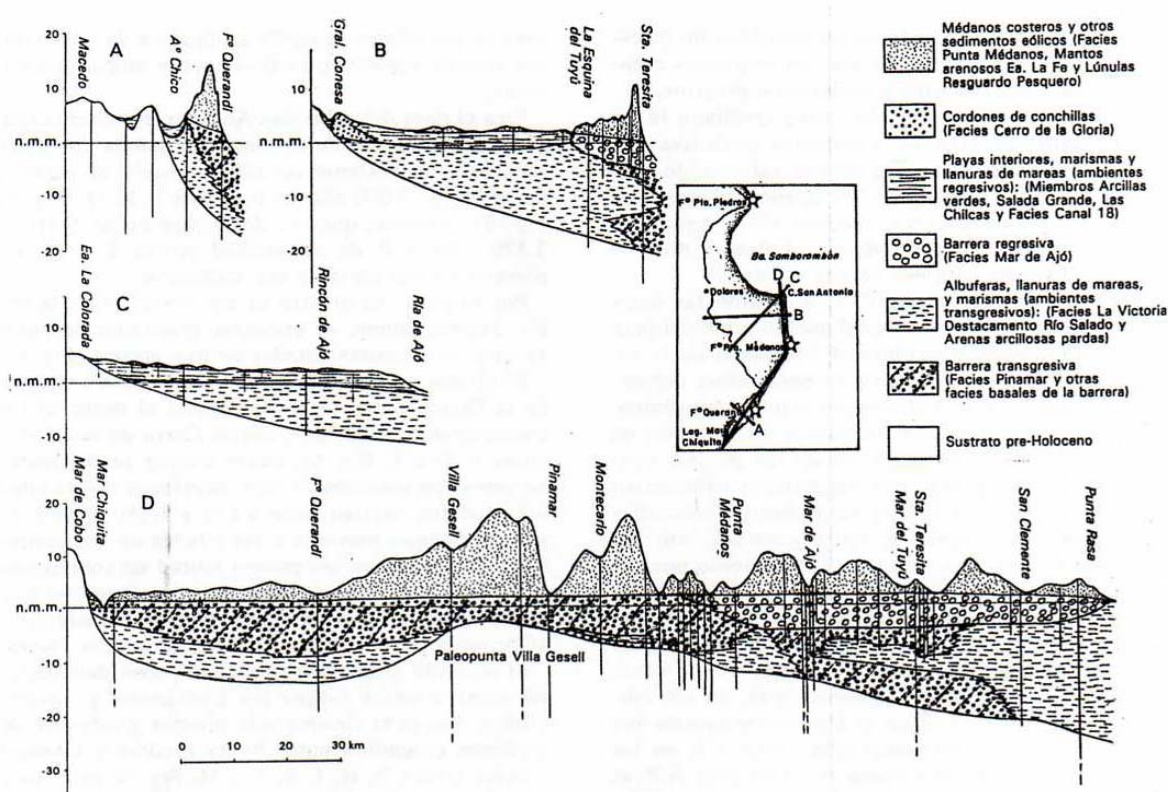


Figura 3.6. Cortes estratigráficos de diferentes sectores del litoral bonaerense, a) corte típico del área Laguna Mar Chiquita; b) Cabo San Antonio; c) sector sur de la Bahía de Samborombón; d) a lo largo de la línea de costa entre Mar Chiquita y Punta Rasa (tomado de Violante et al., 2001)

3.1.3. Estratigrafía Pleistoceno - Holoceno

La región presenta una secuencia, en su mayoría, de origen marino en donde se incluyen ambientes litorales, de barrera, albufera, etc., compuesto por arenas, arenas con conchillas, limos, y arcillas, finalizando con arenas eólicas que conforman los médanos actuales.

A continuación se presenta un cuadro basado en las descripciones del CFI (1989a) con las formaciones que se encuentran en el área de estudio entre Punta Rasa a Punta Médanos (Tabla 3.1).

Nombre	Localidad tipo	Litología	Distribución	Relaciones estratigráficas	Espesor	Contenido faunístico	Edad	Ambiente de depositación
Fm Pozo N° 4	Pozo N° 4 en Pto Casales al oeste de Pinamar	margas y arcillas con intercalación de arcillas arenosas y niveles de conchillas. Techo con niveles de óxidos de hierro	hacia el norte de Pinamar, se hunde al SE. No aflora	grada al SO a la Fm Lomauquén. Sobrepuentea por Fm Pozo N°10	máximo 7 m sin llegar a la base	fragmentos triturados de conchillas	Pleistoceno Medio	plataforma interior
Fm Pozo N° 10	Pozo N° 10 al oeste de Lag. Salada Grande	arenas finas a medias pasan al este a arcillas con intercalaciones arenosas y conchillas. Clastos gruesos en la base	subsuelo desde Pinamar hacia el norte, al este del meridiano que pasa por Gral. Madariaga. También en plataforma aflora frente a la costa y en el fondo de canales profundos entre bancos alineados al E y SE de Pta Medanos, hunde al NE	Pasa al SO a la Fm Canal 5. Es sobrepuentea por Fm Pozo n° 8 y subyace a la Fm Pozo n° 4	casi 14 m	muy triturado de bivalvos de ambiente marino poco profundo.	Pleistoceno Superior Depositado durante el Interglacial Belgrano	litoral poco profundo a plataforma interior
Fm Cañadón Grande	Canal de desagüe del Cañadón Grande hacia A° de las Gallinas	arena limoarcillosas con conchillas	ámbito de Cuenca Interior Sur	es el equivalente lateral de Fm Canal 5. Sobrepuentea por Fm La Diana o por nivel entoscado	1 a 1,5 m	bivalvos y pequeños gastrópodos	Holoceno Temprano	llanura de mareas protegidas a espaldas del cordón de barrera pre-holoceno, cuando el nivel del mar alcanzó el punto más alto e inundó áreas deprimidas detrás de él

Nombre	Localidad tipo	Litología	Distribución	Relaciones estratigráficas	Espesor	Contenido faunístico	Edad	Ambiente de depositación
Fm Pozo Nº 8	Perforado en Ea San José de las Chilcas	FC Pinamar: arenas variables y abundante restos de conchillas. FC La Victoria: arcillas plásticas con materia orgánica y arenas muy finas a limos arcillosos con conchillas triturada. FC Destacamento Río Salado: de arenas a limos con arcillas FC Arenas arcillosas pardas: arena fina muy fino abundante conchillas	2 áreas al N y S: Complejo Lagunar Salada Grande-B. Samborombón con FC La Victoria, Dto Río Salado y Arenas arcillosas. Sistema Laguna Mar Chiquita: FC La Victoria únicamente	apoya sobre Fm Canal 5 y Pozo nº 10. Sobrepuesta por Fm Pozo nº 17 o FC Cerro de la Gloria	máximo de 8 m en Cabo San Antonio y 10 m en Fo Querandí	restos escasos de bivalvos	Holoceno Temprano	FC Pinamar: sistema de barrera costera en facies transgresivas. FC Pinamar: barrera FC La Victoria: depósito de albufera FC Dto Río Salado: amplias llanuras de marea o marismas, cangrejales que se extendieron a la albufera en el área de bahía Samborombón FC Arenas arcillosas: depósitos arenosos de playa
Fm Buenos Aires	Ciudad de Bs As	limos, loess castaño claro, rojizo, masivos	Parte occidental del área hacia la costa como cuña entre Valeria del Mar y Va. Gesell. Forma divisoria entre Lag. Salada Gde. y Mar Chiquita	Sobre Fm Ensenada, y Pascua y Canal 5 . Sobrepuesta por distintas unidades del Holoceno	9 m	Escasos restos mamíferos	Pleistoceno Tardío. Mamífero-Lujanense	Continental. Por acción edílica como manto sobre superficie previa ondulada de sedimentos continentales y marinos

Nombre	Localidad tipo	Litología	Distribución	Relaciones estratigráficas	Espesor	Contenido faunístico	Edad	Ambiente de depositación
Fm Pozo Nº 17	Perforado en Pto Viuda de Venner cerca de Mar de Ajó	FC Mar de Ajó: arenas con conchillas y gravas con materia orgánica (crestas de playa al N de Mar de Ajó). FC Pto del Tigre: arenas finas con conchillas trituradas (mantiforme, representa espigas interiores asociado a evolución de Lag. Mar Chiquita) FC La Ernestina: Mb inferior: arcillas verdes. Mb Salada Grande: arenas y limos. Mb Las Chilcas: arcillas con materia orgánica y óxidos de Fe. Por encima hay depósitos que difieren según el área: -Lúnulas de resguardo (dunas pelíticas) -Mantos arenosos Ea La Fe (arenas) -Cherrier Gral. Lavalle (bancos conchillas en matriz areno arcillosa)	todo el ámbito de cuenca marina holocena al N y S de región Pinamar-Villa Gesell. FC Mar Chiquita, franja costera al N de Pta Medanos. FC La Ernestina Mb Arcillas Verdes, al oeste del anterior entre Lucila del Mar y Pta Medanos y sur de Va. Gesell (Fm A° de las Gallinas), el resto de la facies únicamente en la cuenca norte. Los sedimentos del tope tienen áreas específicas	Apoya sobre Fm Pozo nº 8. La sobreponen, a través de un suelo enterrado, la Fm Pta Medanos	En general 2 m. Donde aparece el Mb Arcillas Verdes llega a 6-7 m	FC Mar de Ajó: moluscos marinos de playa y litorales poco profundos. FC La Ernestina: de ambiente salobre	Holoceno Tardío	Corresponden a diferentes ambientes asociados a sistemas de barra litoral evolucionado durante la etapa regresiva. FC Mar de Ajó: barrera desarrollada por acreción de espigas de playa que crecieron partir de Pta Medanos hacia el norte, cerrando el ambiente albufrico-mareal del Cjo Lagunar Salada Gde.-Bahía Samborombón. FC Pto del Tigre: espigas interiores asociadas a evolución de Lag Mar Chiquita desde Va Gesell al sur. FC La Ernestina: ambientes albufricos (Mb Arcillas verdes), playas interiores (Mb Salada Gde.), mareales (Mb Las Chilcas), y sedimentos terminales de la etapa final de la evolución del sistema de barrera (Cherrier Gral. Lavalle, mantos Arenosos Ea La Fe, y Lúnulas de resguardo Pesquero) colmataron las áreas bajas que quedaron por detrás de las barreras
Fm Punta Medanos	Área de Punta Medanos	arenas finas, medianas con restos de conchillas, típicas dunas costeras	sin interrupción por toda la costa, franja de hasta 3-4 km ancho adyacente a la playa	se superpone a la FC Mar de Ajó al norte de Pta Medanos y a la FC Pinamar al sur	hasta 30m	conchillas de especie de playa actuales	final del Holoceno Tardío	medanos actuales, por acción eólica a expensas de los sedimentos de playa.

Tabla 3.1. Estratigrafía regional.

Para el análisis hidrogeológico, las formaciones arenosas son las que presentan un mayor interés debido a su alta permeabilidad y capacidad de almacenamiento como capas acuíferas.

3.2. Rasgos geomorfológicos

Los rasgos geomorfológicos se relacionan al ámbito regional de la Pampa Deprimida (Frenguelli, 1946). Se reconoce un amplio sector continental y una restringida franja costera con rasgos particulares. El primero, se caracteriza por un relieve extremadamente llano de muy baja pendiente. La zona topográficamente más baja es el río Salado, donde se localiza el eje de la cuenca tectónica. El resultado, consecuencia de tan bajos gradientes, se manifiesta en condiciones de drenaje superficial muy deficiente, el cual actualmente se encuentra muy modificado debido a una red de canales artificiales de descarga que han interconectado cuerpos de agua, mientras que la construcción de carreteras y caminos ha generado endicamientos y anegamientos de diferentes sectores (Zárate y Rabassa, 2005). El relieve más marcado, que se encuentra en algunas partes del área, son ondulaciones muy suaves, excepcionalmente de 2 m de desnivel. (Tricart, 1973)

El ambiente costero propiamente dicho se puede dividir en tres regiones: terraza alta, terraza baja y cordón costero, las cuales se subdividen de acuerdo a características particulares de acuerdo a lo indicado en la Tabla 3.2 según la nomenclatura utilizada por CFI (1989a).

Región (forma primaria)	Subregión (forma Secundaria)
Terraza alta	Llanura alta
Terraza baja	Llanura deprimida
	Cordones litorales
	Cuenca interior norte
Cordón costero	Médano
	Playa

Tabla 3.2. Regiones geomorfológicas

Se describen a continuación las características de cada una, pudiéndose visualizar su ubicación y extensión en la Figura 3.7:

Terraza alta: incluye la subregión de la llanura alta. Se trata de una superficie suavemente ondulada y algo inclinada al este por encima de la cota de los 5 m s.n.m., sin elementos fisiográficos importantes. El drenaje es por canales artificiales. Está conformada por sedimentos pleistocenos y el borde oriental es un acantilado de no más de 1 m de altura que representa un resalto de pendiente, formado por erosión de olas en el máximo nivel del mar del Holoceno.

Terraza baja: se desarrolla al norte, este y sureste del cordón de barrera, entre éste y el cordón costero, a excepción del área adyacente a la Bahía de Samborombón, que se mantiene abierta al mar. Es una superficie plana, en forma de cubeta suave. Las cotas son inferiores a 5 m s.n.m., lo cual marca el límite con la terraza alta. En la zona norte, existe un drenaje natural por el río Ajó hacia la Bahía de Samborombón. Los arroyos están alimentados por canales artificiales que facilitan el escurrimiento. Es el área cubierta por sedimentos estuáricos y lagunares asociados a barreras litorales en la transgresión holocena.

Se pueden distinguir tres subregiones:

- Llanura depresionada: definida entre el cordón costero al este y la terraza alta y cordones litorales al oeste. Existe un declive hacia el centro y norte de la cuenca. Presenta geoformas menores.

Las de relieve positivo no exceden de 1,5 m sobre el relieve circundante, bordea el eje depresionado central desde Gral. Lavalle al sur. Las formas son médanos arcillosos (lúnulas) al suroeste, médanos arenosos (mantos) al este y noreste, y crestas de playa, ubicados al oeste de los médanos costeros.

Las de relieve negativo incluyen a los canales de marea, los cuales definen una red de cursos irregulares que convergen hacia el norte al Río Ajó con drenaje muy lento conformando cañadas con vegetación. Cerca de la Bahía de Samborombón y el Río Ajó son verdaderos canales de marea en donde se forman cangrejales.

- Cordones litorales: se componen de materiales gravosos conchiles hasta arenas, depositados por acción de tormentas y distribuidos por corrientes litorales en sentido norte-sur. Las cotas están en el orden de los 5 m s.n.m., excepcionalmente llegan a 10 m de altura y el ancho de estos cordones oscila en 2 km.

- Cuenca interior norte: se localiza por detrás de los cordones litorales, con cotas de 4 m s.n.m., es una superficie plana surcada por canales de marea. Son materiales finos lagunares cubiertos por sedimentos eólicos. Evolucionó a partir del máximo del holoceno. Presenta bañados, esteros y cañadas con lagunas temporarias y permanentes. El drenaje es por medio de canales.

Cordón costero: se desarrolla sin interrupciones desde Punta Rasa hasta la desembocadura de la laguna Mar Chiquita, tiene un ancho de 2-4 km con mayor desarrollo en la zona de Punta Medanos.

Presenta dos subregiones:

- Playas: rectilíneas, entre 50 y 150 m de ancho, con pendientes suaves, de arenas finas a medias, excepcionalmente gruesas. Son del tipo costas en construcción, sin barrancas, con playa arenosa. La zona al norte entre Mar de Ajó y Punta Médanos, de 70 a 100 m de ancho, tiene pendiente suave, con poca o nula diferencia entre los elementos de la morfología de la playa, la zona intertidal es casi todo el ancho. Presenta arenas finas, seleccionadas, con bajo porcentaje de carbonato de calcio como conchillas. Su dinámica de sedimentación es baja. La tendencia general de transporte en toda la playa desde la zona de San Clemente a Faro Querandí, presenta dos células de circulación, una desde el sur hasta Punta Médanos al norte, y otra de Pinamar al sur, aunque las condiciones oceanográficas indican un transporte neto de sedimentos hacia el norte

- Médanos: ubicados al oeste de la playa que les da origen. Entre en Cabo San Antonio y Punta Médanos son bajos y fijados por la vegetación. A veces es difícil identificar formas definidas. El balance según la cantidad de arena movida por el viento es positivo hacia el continente. La deriva litoral coincide con el transporte neto por el viento en dirección norte y se observa una pérdida de áreas de la playa que se van incorporando a los médanos.

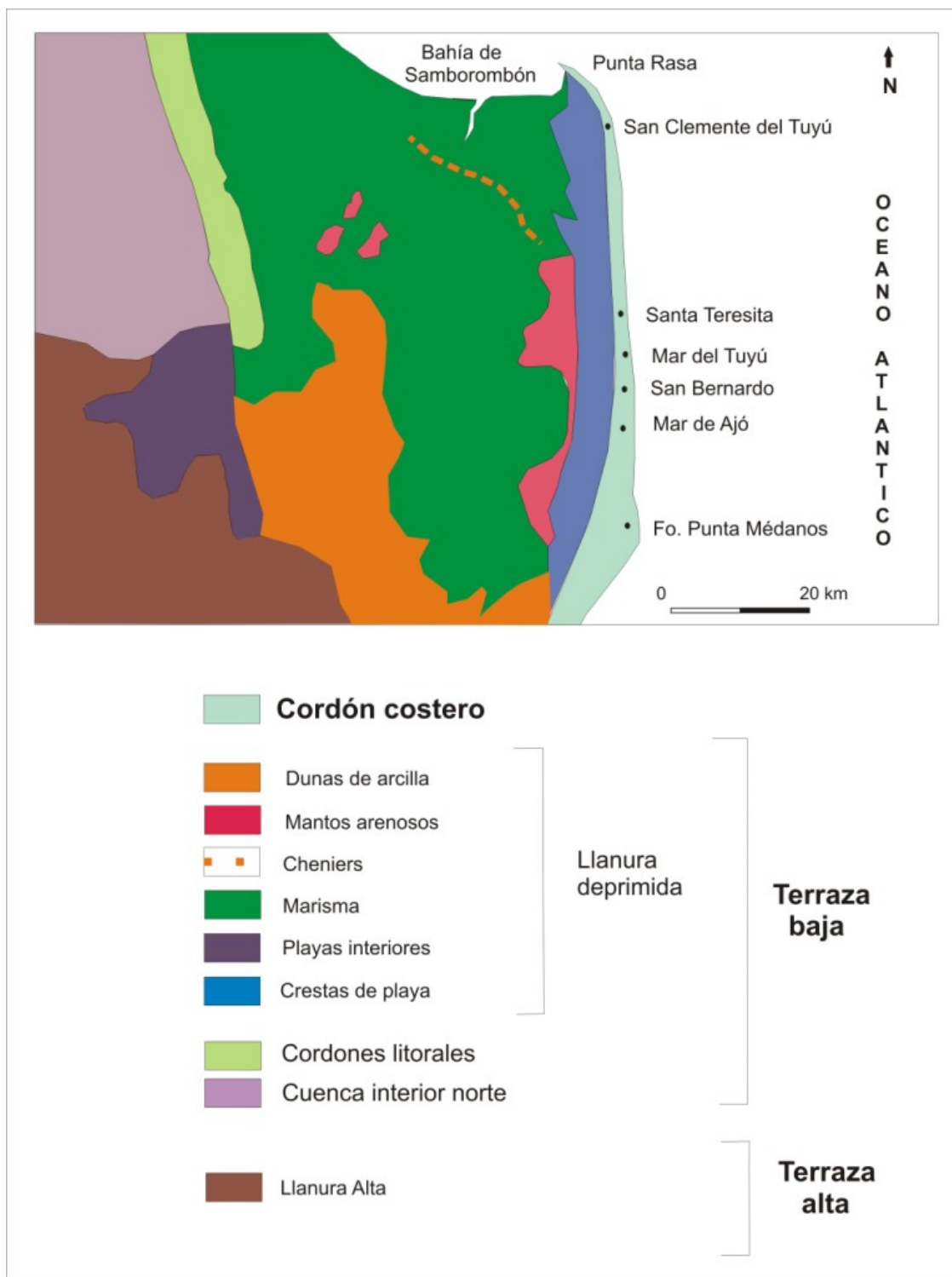


Figura 3 7. Mapa geomorfológico de la región

En el contexto geomorfológico de la región los rasgos que presentan una litología arenosa, entre ellos el cordón costero, revisten una especial importancia y adquieren relevancia en la caracterización hidrogeológica. La infiltración favorecida en estos ambientes indicaría puntos de interés en donde se produciría el potencial almacenamiento de las aguas subterráneas.

3.3. Suelos

Dentro de los distintos ambientes geomorfológicos estudiados, se distinguen tres tipos de suelos de acuerdo al sustrato que les dio origen (Tabla 3.3)

Ambiente	grado de evolución	espesor	Horizontes	clasificación	Capacidad de uso
Terraza Alta	Bien evolucionados	60-80 cm	A: oscuro alto contenido de humus, profundo, bien desarrollado. B: moderadamente bien drenado	Brunizem Argiudoles	uso agrícola-ganadero
Terraza Baja	Poco evolucionados, carácter insipiente		Sin horizontes diferenciados, bajo en humus, alto en CaCO_3	Gley , Solonetz Natracualfes y Natracuoles	restringido uso agrícola-ganadero
Cordón Costero	Sin desarrollo arenosos		Excesivamente drenados e inestables	Cuarcipsamientos	forestación

Tabla 3.3. Suelos representativos de la región

Como puede observarse, en la región del cordón costero, el desarrollo de los suelos es inexistente. De acuerdo al mapa de suelos del INTA (1989) (Figura 3.8), la zona de estudio esta representada por el dominio edáfico 27, que se extiende desde San Clemente del Tuyú hasta la laguna de Mar Chiquita y desde Miramar hasta Punta Alta (Bahía Blanca), costa marina del partido de Patagones.

Los sedimentos originarios de los suelos de este dominio son arenas de playa marina. La mayor parte del paisaje consiste en dunas costeras. Los suelos hallados están en relación con el grado de estabilidad que presentan las acumulaciones arenosas. Los Cuarzipsamientos y Torripsamientos típicos se encuentran en las partes más activas, desprovistos de vegetación; los Haplustoles énticos y arídicos y los Hapludoles énticos, en los sectores más planos con mayor cobertura vegetal.

Dentro del dominio edáfico 27, encontramos la unidad 27a que es la que caracteriza el área de interés. El paisaje es de dunas dispuestas en forma de cordones. Algunas tienen crestas activas, en tanto que otras están fijadas por la vegetación. La asociación de suelos esta compuesta por Udipsament típico, en distintas posiciones de la duna algo estabilizadas por la vegetación. Cuarzipsamet típico, en dunas activas y Hapludol éntico en sectores plano-cóncavos entre dunas,

cubiertos por vegetación. Se pueden encontrar suelos menores, en áreas deprimidas, donde el agua puede quedar algún tiempo estacionada, allí se encuentran suelos con un horizonte B2 muy incipiente (Hapludol típico). Los suelos de la zona presentan como limitaciones una erosión eólica severa y una alta permeabilidad. Esto último es de gran importancia en su relación con la infiltración y recarga del sistema acuífero.

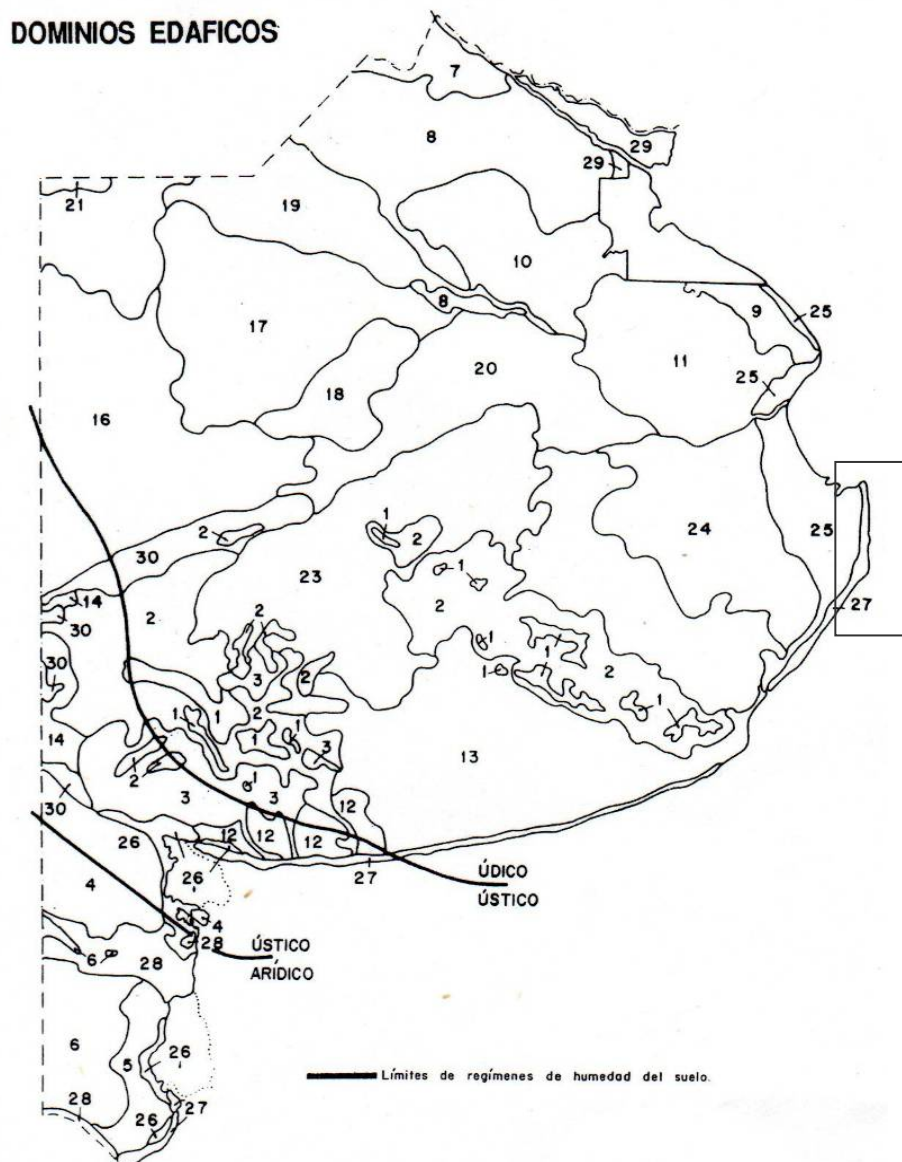


Figura 3.8. Mapa dominios edáficos de la Pcia. de Buenos Aires (INTA, 1989)

3.4. Condiciones climáticas

3.4.1. Caracterización general

El clima de la región es templado húmedo. Según la clasificación de Thornthwaite es $B1B'2ra'$, donde $B1$ es húmedo, $B'2$ es mesotermal (templado), r representa un nulo a pequeño déficit de agua, y a una concentración estival de la eficiencia térmica menor del 48 % (CFI, 1990a).

Las estaciones meteorológicas para realizar la caracterización climática se indican en la Figura 3.9. Algunas se encuentran fuera del área de estudio, y han sido utilizadas de apoyo.



Figura 3.9. Estaciones meteorológicas utilizadas para el análisis climático

La precipitación media (1925 – 2008) es 929 mm/año en Dolores y 965 mm/año en Punta Indio. En la Figura 3.10 se observa la serie anual, reconociéndose en ambos casos una leve tendencia positiva. De acuerdo a estas condiciones, las precipitaciones, como fuente de ingreso al sistema hídrico en sus términos medios se han mantenido o mostraron un leve aumento en el período analizado. El valor máximo es 1446,6 mm en 1963 para Dolores y 1734,5 mm en 1993 para Punta Indio. Las precipitaciones mínimas fueron 1929 con 531 mm en Dolores, y 1976 con 497,5 mm en Punta Indio.

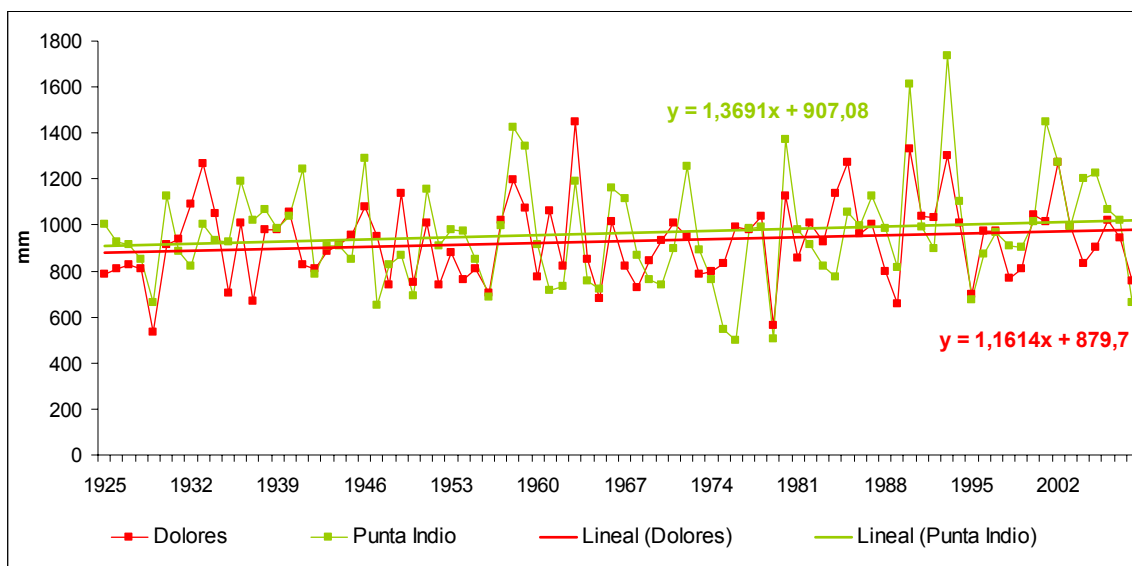


Figura 3.10. Serie histórica de precipitaciones anuales para dos estaciones del SMN de la región (1925-2008)

Se analizaron las lluvias incluyendo a las dos estaciones descriptas y Santa Teresita, en la zona de estudio, en el periodo de datos en común (1990-2005). La media anual es 1000,4 mm en Dolores, 1110,6 mm en Punta Indio y 1001,1 mm en Sta. Teresita. Estos valores confirman la homogeneidad en la precipitación anual a una escala regional.

Los valores máximos se produjeron en 1993 para Punta Indio (1734 mm) y para Sta. Teresita (1380 mm) mientras que en Dolores fue en 1990 (1330 mm). Las mínimas coinciden en 1997 para Dolores y Punta Indio con 695 y 677 mm respectivamente, siendo para Sta. Teresita de 773 mm en 2004. (Tabla 3.4)

	Media anual (1990-2006)	Máxima anual (mm)	Mínima anual (mm)
Dolores	1000,4	1330(1990)	695(1995)
Punta Indio	1110,6	1734(1993)	677(1995)
Sta. Teresita	1001,1	1380(1993)	773(2004)

Tabla 3.4. Valores medios de precipitaciones para las estaciones de estudio

Tal como se indicó la serie anual de precipitaciones en Dolores y Punta Indio (1925 – 2008) muestran una tendencia levemente positiva con ecuaciones de la recta muy similares. En cambio en el período 1990-2005 la tendencia es levemente negativa, con ecuaciones similares en Dolores y Sta. Teresita (Figura 3.11).

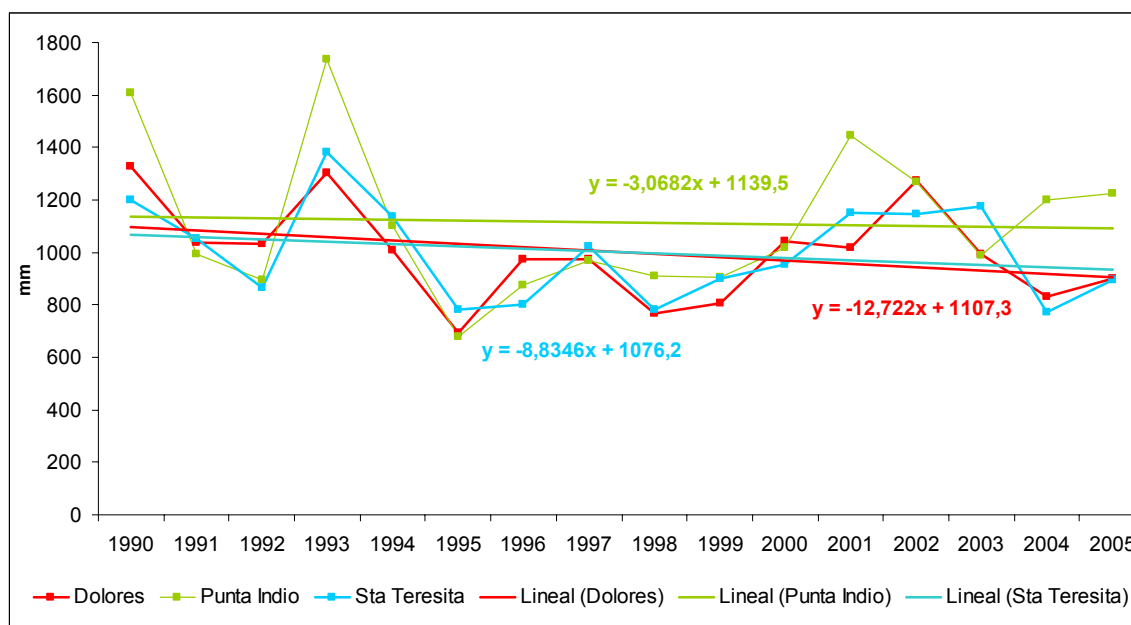


Figura 3.11. Serie 1990-2005 para las estaciones Dolores, Punta Indio y Sta. Teresita del SMN.

En la Tabla 3.5 se indican las precipitaciones mensuales medias, máximas y mínimas de Dolores (1959-2008). El máximo corresponde a noviembre de 1985 con 398,6 mm mientras que el mínimo de 0 mm se dio en dos oportunidades, junio de 1987 y agosto de 1969. De acuerdo a los valores medios, enero es el más lluvioso con 105,5 mm y junio con 52,7 mm el mes con menos lluvias.

El 30,6% de las precipitaciones ocurren en verano, el 21,4% en otoño, el 18,7% en invierno y el 29,4% en primavera. La distribución es relativamente homogénea, sin embargo el verano resulta la estación más lluviosa y el invierno la menor.

Considerando una división en semestres, el húmedo (octubre – marzo) contiene el 60% de las precipitaciones y el seco (abril – septiembre) el 40%.

Precipitaciones (mm)	Media mensual	Mensual máxima	Mensual mínima
Enero	105,4	274,6 (1971)	11,5 (1989)
Febrero	87,4	288,6 (1984)	4 (1959)
Marzo	96,1	330,5 (2002)	3 (1965)
Abril	91,1	376,8 (1993)	8,2 (1968)
Mayo	58,0	158,7 (1990)	7 (1988)
Junio	52,7	154,6 (1992)	0 (1987)
Julio	60,0	160,9 (1978)	5,3 (1993)
Agosto	59,1	157,6 (1963)	0 (1969)
Septiembre	57,2	183 (1982)	0,9 (1995)
Octubre	92,0	211,6 (1967)	8,7 (1964)
Noviembre	96,8	398,6 (1985)	20,4 (1982)
Diciembre	88,7	242,1 (1972)	3 (2008)

Tabla 3.5. Precipitaciones medias mensuales, máximas y mínimas. Estación Dolores (1959-2008)

Las precipitaciones mensuales a través del tiempo muestran una tendencia positiva en enero, febrero, abril, junio, agosto, octubre y noviembre. La recta con mayor pendiente pertenece a enero. Mientras que marzo, mayo, julio, septiembre y diciembre presentan una tendencia a la disminución, siendo julio la de mayor pendiente (Figura 3.12).

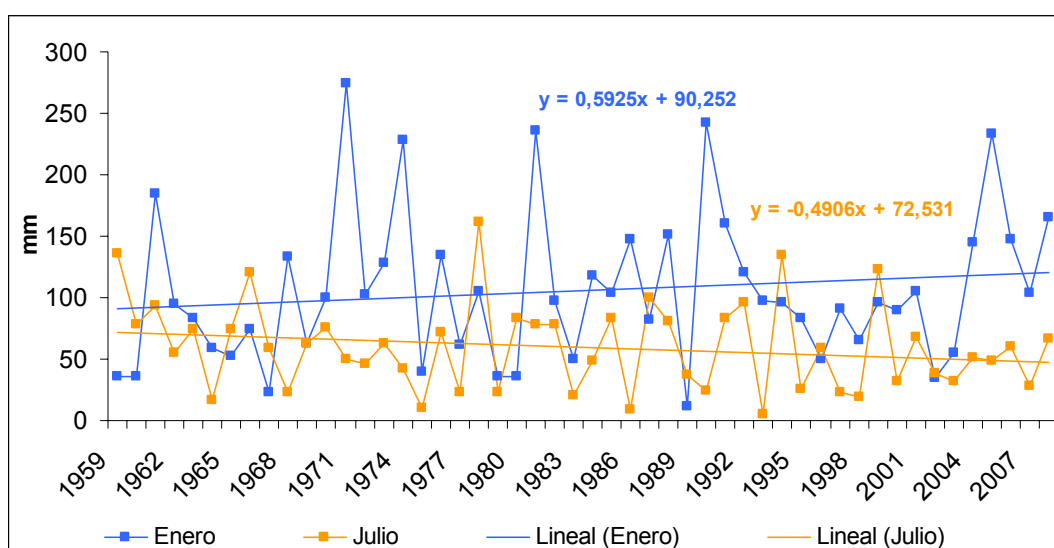


Figura 3.12. Ejemplo de gráfico con valores mensuales para la serie 1959-2008 de Dolores. Se ha elegido como ejemplo los meses con la mayor tendencia positiva y negativa

Las precipitaciones analizadas para períodos más extensos (50 años) en términos generales muestran similitud con los datos del CFI (1990a) donde se consideran períodos del orden de 30 años (Tabla 3.6).

	Periodo	Precipitación media anual	Precipitación Máxima absoluta	Precipitación Mínima absoluta
San Clemente	1948-1968	1035	402 mm (Mar. 1963)	0 mm (Feb. 1959/Jun. 1962/ Sep. 1961)
Mar del Plata	1951-1986	948	375,3 mm (May. 1957)	1,2 mm(Abr. 1964)
Pinamar	1950-1975	897	528,8 mm (May. 1957)	2,1 mm(Jun. 1962)
Dolores	1951-1986	906	398,6 mm (Nov. 1985)	0 mm(Ago. 1969)

Tabla 3.6. Precipitación mensual máxima y mínima absolutas

Puede concluirse que la precipitación media anual es del orden de de 1000 mm con una distribución relativamente homogénea a lo largo del año. Si bien localmente las estaciones presentan datos con cierta variabilidad, en su conjunto dicho valor adquiere validez regional.

Se reconoce que la disminución de las precipitaciones en el invierno puede dar lugar a una menor recarga al acuífero, dado que es la época en que se producen los mayores excesos con posibilidad de infiltración. En cambio la tendencia positiva en las precipitaciones durante el verano no necesariamente implicaría un incremento en la recarga al acuífero que de por sí es de menor importancia ya que se mantiene una elevada evapotranspiración.

Las máximas anuales varían entre 1300 y 1700 mm mientras que las mínimas oscilan entre 670 y 770 mm, representando años de extrema sequía o humedad que afectan de manera directa a la recarga del agua subterránea.

La temperatura media anual para la región es de 14,6°C. De acuerdo a los datos de San Clemente, Pinamar, Mar del Plata, en el sector costero, y Dolores en el sector continental, en CFI (1990a) se sostiene que es observable la influencia de la distancia al mar. Los vientos estacionales del mar hacia la tierra en verano traen aire frío a la estación terrestre, en invierno traen aire más calido. Una estación terrestre cercana a un litoral importante tendría menos variación de la temperatura cuanto más próxima este al litoral, esto se da para San Clemente, Pinamar y Mar del Plata comparada con Dolores. En la Tabla 3.7 pueden verse valores de temperaturas medias y absolutas para las estaciones utilizadas.

	Temp. media anual	Temp. Media enero	Temp. Media julio	Temp. Máxima Absoluta	Temp. Mínima Absoluta
Dolores	14,8	21,4	8,4		
San Clemente	14,5	20,4	8,5	35,6 (Dic. 1962)	-4,6 (Jun. 1967)
Pinamar	14,6	20,4	8,6	37,4 (Dic. 1970)	-6,6 (Jun. 1967)
Mar del Plata	Aero 13,7 Ciudad 13,5	20	Aero 8,4 Ciudad 9	38,2 (Dic. 1970)	-5,8 (Jun. 1962)
Promedio	14,6	20,55	8,7	37,1	-5,7

Tabla 3.7. Temperaturas medias y absolutas para Dolores, San Clemente, Pinamar y Mar del Plata

Es de destacar que los valores son relativamente homogéneos no existiendo grandes diferencias entre las estaciones en lo que a los datos presentados se refiere.

En cuanto al régimen de vientos, existe una gran variabilidad en frecuencia de direcciones entre los 30° y 60° de latitud sur, siendo una región con continuos cambios de dirección y estado del tiempo. Igualmente hay una permanencia de vientos provenientes desde el este. Otras características son que las brisas mar-tierra originan vientos perpendiculares a la línea de costa con importante aporte de humedad. A partir de primavera y casi finalizado el otoño, se observa el pasaje de un frente caliente desde el norte y determina días con vientos norte o noreste, calidos y húmedos. Además los frentes fríos desde la Patagonia producen vientos del noroeste.

En cuanto al análisis de los vientos se listan a continuación las direcciones y frecuencias en escalas de 1000 tomado de las Estadísticas Climatológicas 1951-1960 (SMN, 1965) en donde se encontraban datos disponibles para las estaciones de interés. (Tabla 3.8)

	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	calmas (promedio anual)	velocidad media mensual (km/h)
San Clemente	102	132	210	14	61	72	166	142	1	11-18
Mar del Plata (aero)	133	117	85	79	91	122	86	164	123	22-24
Pinamar	186	112	121	87	149	58	105	109	73	15-18
Dolores	127	185	84	89	110	103	86	112	104	13-20

Tabla. 3.8. Análisis de las características de los vientos.

De acuerdo a los datos de la tabla, se destaca el hecho de que San Clemente casi no presenta días con calmas en el promedio anual, además de mostrar la mayor frecuencia de vientos desde la dirección este.

La franja costera esta influenciada por el mar como factor que aumenta los valores de humedad relativa, así para Pinamar, la media anual es 76 % y para San Clemente 85%. El régimen de tensión de vapor es de 13 y 15 mb para las estaciones mencionadas

En la Tabla 3.9 pueden observarse otros fenómenos meteorológicos descriptos para el área.

Nº de días con:	Heladas	Cielo claro	Cielo cubierto	Granizo	Tormentas eléctricas	Precip.	Niebla
San Clemente (1961-1970)	5,8	144	85			58	
Mar del Plata (1971-1980)	20,1	92	101	1,6	33,5	108	55
Pinamar (1971-1976)	10,6	97	96	3,2	33	111	47,5
Dolores (1971-1980)	25,6	97	103	1	42	102	53

Tabla 3.9. Fenómenos meteorológicos varios para las estaciones de interés

Pueden hacerse algunas observaciones a partir de la tabla, como por ejemplo que en la estación continental (Dolores) la frecuencia de heladas es mayor. San Clemente presenta la mayor cantidad de días con cielo claro y por ende, el menor número de días con precipitaciones. El máximo se da en la zona de Pinamar, junto a los días con granizo. Mar del Plata posee más días con niebla que el resto, y Dolores la máxima cantidad de días con cielo cubierto y tormentas eléctricas.

De acuerdo al análisis de información antecedente como de datos actualizados puede concluirse que la zona de estudio se caracteriza por presentar un esquema regional de homogeneidad climática, con una precipitación media anual del orden de los 1000 mm, donde el mayor porcentaje ocurre de octubre a marzo. La temperatura media anual es de 14,6 °C, la humedad relativa promedio es del 85 % y la frecuencia de vientos es muy variable, aunque la dirección del este es algo predominante

3.4.2. Balance hídrico

Con el objeto de contar con una estimación regional del agua que ingresa y egresa del sistema hidrológico se evaluaron los balances hídricos de Punta Indio, Dolores y Mar del Plata (Tabla 3.10). Los balances realizados en trabajos antecedentes consideran periodos que abarcan las décadas del 40 al 80, por lo tanto se planteó la necesidad de realizar balances hídricos más actualizados.

Estación	Periodo	Precipitaciones	ETR	Excesos	CC	PMP
Punta Indio	1925-2008	965	698	267	180	115
Dolores	1959-2008	944	706	239	168	101
Mar del Plata	1961-2006	933	727	206	260	146
Promedio		947	710	237		

Tabla 3.10. Balances hídricos actualizados

Los balances fueron confeccionados con el programa AGROAGUA v.5.0 (Forte Lay et al., 1995) según Thornthwaite y Mather (1955) utilizando el método de Penman-Monteith para el cálculo de la ET₀ (evaporación de referencia). Los parámetros tales como capacidad de campo (CC) y punto de marchites permanente (PMP) variaron de acuerdo a las características de los suelos de cada localidad, y se consideró un coeficiente de cultivo K_c igual a 1 para todos los casos.

De acuerdo a estos resultados, La ETR oscila entre 698 y 706 con un promedio de 710 mm. Por su parte los excesos están en el orden de los 237 mm, los cuales se producen entre abril y octubre.

De acuerdo a CFI (1990a) los valores obtenidos de acuerdo a la metodología de Thornthwaite y Mather (1955) indican una ETR que oscila entre 700 y 750 mm, con excesos entre 109 a 293 mm con el valor máximo obtenido para San Clemente. Cabe mencionar que en Dolores (estación continental) no se observan diferencias con las estaciones costeras (Tabla 3.11).

Por otra parte Sala et al. (1979) realizó cálculos de evapotranspiración por el método de Thornthwaite (1948), considerando dos periodos (Tabla 3.11). Para 1951-1960 se contó con datos de la Estación San Clemente, con un valor de precipitación

media anual de 1017 mm. El balance resultó en una EVR de 723 mm, excesos de 294 mm/año entre marzo y noviembre.

El periodo que abarca 1960-1975, fue analizado según datos de la estación localizada en el Vivero Cosme Argerich, con precipitación media anual de 747 mm y una ETR 688 mm. Los excesos calculados en 59 mm/año fueron registrados entre fines del invierno y comienzo de la primavera

Otro cálculo de balance hídrico fue realizado por Girardi (1994) quien también utilizó el método Thornthwaite y Mather (1955) (Tabla 3.11). Con una retención de humedad en el suelo de 75 mm y una precipitación de 900 mm como entrada, se obtuvo una ETR de 650 mm, excesos de 252 mm en invierno y primavera, un escurrimiento superficial de 4,5 mm calculado como el 0,5% de la precipitación por el tipo de suelo. La infiltración se estimó en 245,5 mm

Autor	Localidad	Periodo	ETR (mm)	Excesos (mm)	Almacenaje (mm)
CFI (1989)	Mar del Plata	1951-1980	713	198	Min. 241
	Pinamar	1950-1975	719	164	232 (Feb)
	Dolores	1951-1980	738	109	222 (min. Feb)
	San Clemente	1948-1968	741	293	Medio elevado (min. Feb 218)
Sala et al (1979)	San Clemente	1951-1960		294	
		1960-1975		59	
Girardi (1984)	San Clemente		650	252	
Promedio			712	229	230

Tabla 3.11. Balance hídrico según autor y localidad

De acuerdo a los datos obtenidos en el presente trabajo y los valores medios de los autores citados, se concluye que los valores de ETR están en el orden de los 710 mm y mientras que los excesos de agua en 230 mm.

3.5. Caracterización hidrogeológica

3.5.1. Unidades hidrogeológicas

En la caracterización regional se plantea un esquema hidrogeológico compuesto por un sistema somero y otro profundo. En el primero se reconocen cuatro unidades relacionadas con la secuencia sedimentaria psamítico-pelítica originada por sucesivos desplazamientos de la línea de costa por oscilaciones del nivel del mar en el Pleistoceno y Holoceno:

1- acuífero freático:

La unidad más superficial es el acuífero freático con un espesor entre 7 y 18 m, representado por arenas finas a medianas castaño amarillentas (5-8 m); arenas conchilíferas (2-6 m) que aumentan de espesor al E, desaparecen al O; arenas finas y arenas arcillosas (2,5-5 m). Presenta fracciones magnéticas minerales variables entre 0,6 y 7,3 % compuestas por vidrio incoloro y castaño-negro con abundante inclusiones de magnetita, generalizada hematitización, cristales independientes de magnetita con reemplazos a hematita.

2- unidad acuitardo-acuícludo:

Compuesta por arcillas y arcillas arenosas verde grisáceas con valvas enteras, con un espesor de 2,5 a 5 m. que presenta un techo casi horizontal con suave pendiente al sur, situándose entre 8 y 9 m debajo del nivel del mar.

3- complejo acuífero semiconfinado (CAS)

Incluye a limos arenosos y arenas limosas castaño amarillentas friables con propiedades más arcillosas en la base.

4- acuitardo-acuícludo:

Compuesto de arcillas plásticas verde-gris con valvas gruesas y moteados férricos

5- sistema profundo:

Integrado por sedimentos más antiguos que pertenecen al relleno de la Cuenca del Salado, comenzando con un depósito de arenas cuarzosas, claras y pardo amarillentas, de carácter acuífero, que se localiza entre los 90 y 120 m de profundidad. Continúa la secuencia limos y arcillas con intercalaciones psamíticas acuíferas hasta los 800 m. Sigue un depósito con areniscas y arcillas rojas hasta los 1200 m, que presenta niveles acuíferos, acuícludos y acuitardos. Las capas acuíferas del sistema profundo se caracterizan por aguas de elevada salinidad

Los nombres formacionales correspondientes y características de estas unidades están mencionados en la Tabla 3.12.

<u>Hidrogeología</u>	<u>Litología</u>	<u>Formación</u>	<u>Ambiente</u>	<u>Edad</u>		<u>Modelo geoeléctrico (resistividad en Ω m)</u>
Acuífero freático (7-18 m)	arenas finas a medianas castaño amarillentas (5-8 m)	Punta Médanos	continental (cordón costero)	Holoceno	Tardío	30-600
	arenas conchilíferas (2-6 m) aumenta al E, desaparece al O	Pozo nº 17	marino (barrera litoral)		Temprano	
	arenas finas y arenas arcillosas (2,5-5 m)	Pozo nº 8	marino (playa-barrera litoral)			< 10
Acuitardo- acuicludo	arcillas y arcillas arenosas verde grisáceas con valvas enteras		albufera			
Complejo Acuífero Semiconfinado	limos arenosos y arenas limosas castaño amarillentas, friables (5 m)	Buenos Aires	continental	Pleistoceno	Tardío	25-100
	arenas y arenas limo arcillosas castaño a amarillento	Pozo nº 10	marino (litoral a plataforma interior)		Medio	< 3
	propiedades más arcillosas en la base					
Acuitardo- Acuicludo	arcillas plásticas verde-gris con valvas gruesas y moteados férricos	Pozo nº 4	marino (plataforma interior)			
Sistema profundo	arenas cuarzosas, claras y pardo amarillentas	“Arenas Puelches”	Continental (fluvial)	Neógeno	Plioceno	
	Limos y arcillas con intercalaciones psamíticas	Paraná (“Verde”)	Marino (transgresivo)		Mioceno	
		areniscas y arcillas rojas	Olivos (“Rojo”)	Continental (regresivo)	Paleógeno	

Tabla 3.12. Sección tipo área Punta Médanos (Modificado de CFI, 1990b)

El perfil tipo del sistema somero que se indica en la tabla anterior se reconoce íntegramente al sur de Las Toninas y Santa Teresita. Al norte de estas localidades este esquema presenta variaciones debido a cambios de facies en unidades

geológicas. Estas variaciones le otorgan al esquema regional, ciertas particularidades que se describen a continuación:

En el sector de San Clemente del Tuyú y alrededores debajo del acuífero freático (7-10 m), que presenta menor espesor por escasa exposición del cordón costero, se observa un paquete pelítico que es acuícludo, con niveles acuíferos y acuitados con agua de alta salinidad. En el sector Las Toninas-San Bernardo se ajusta al esquema general, pero reconociéndose agua de elevada salinidad en el CAS, mientras que hacia el sur de Mar de Ajó la salinidad disminuye. El CAS de facies arenosas de ambiente costero, grada al norte a facies arcillosas de plataforma, modificando el comportamiento hidrogeológico, donde pasa a un potente espesor acuícludo con niveles acuíferos menores y acuitado con aguas de alta salinidad.

3.5.2. Acuífero freático

Las arenas finas y conchilíferas del acuífero freático presentan una variabilidad en cuanto a los parámetros hidráulicos. En la Tabla 3.13 se resumen los definidos para esta unidad según las distintas fuentes de información.

Locación	Fuente	Método	T (m ² /d)	S	K (m/d)
San Clemente	DIGMAS (1975)		110-150	0,12	7,1
	UNLP (1976)		200	0,10	20
Las Toninas en Costa Chica	DOSBA (1990)		544	0,14	47
Área al norte de Sta Teresita y las Toninas	Namen SRL (1983)		90		7,3-10,1
Mar de Ajó	DOSBA (1990)		513	0,07	42
Extremo sur, zona de acuífero con mayor espesor	COPUAP (1982)	Jacob	1265	0,025	80
		Jacob	460-485	0,001-0,012	25-27
Ea. Rincón de Cobo	CFI (1990)	Theis	> 650	0,001	
		Chow	valores similares a los de Jacob		
Sur de Mar de Ajó	Santa Cruz y Silva Busso (2001)	Neuman	217-354	0,05	

Tabla 3.13. Parámetros hidráulicos según diferentes fuentes. DIGMAS: Dirección de Geología, Minería y aguas subterráneas. UNLP: Universidad Nacional de La Plata. DOSBA: Dirección Provincial de Obras Sanitarias. COPUAP Complejo Portuario de Ultramar en Aguas Profundas. CFI: Consejo Federal de Inversiones

Según la descripción geomorfológica surge el modelo hidrodinámico (Figura 3.13), así el cordón costero es la zona de recarga principal, luego un corto tramo es de conducción, y se da la descarga en dos direcciones opuestas, una hacia el mar y la otra al oeste en la terraza baja, específicamente a la llanura deprimida

El esquema general está limitado por dos interfases, hacia el continente agua dulce-agua salobre y hacia el mar, agua dulce-agua salada.

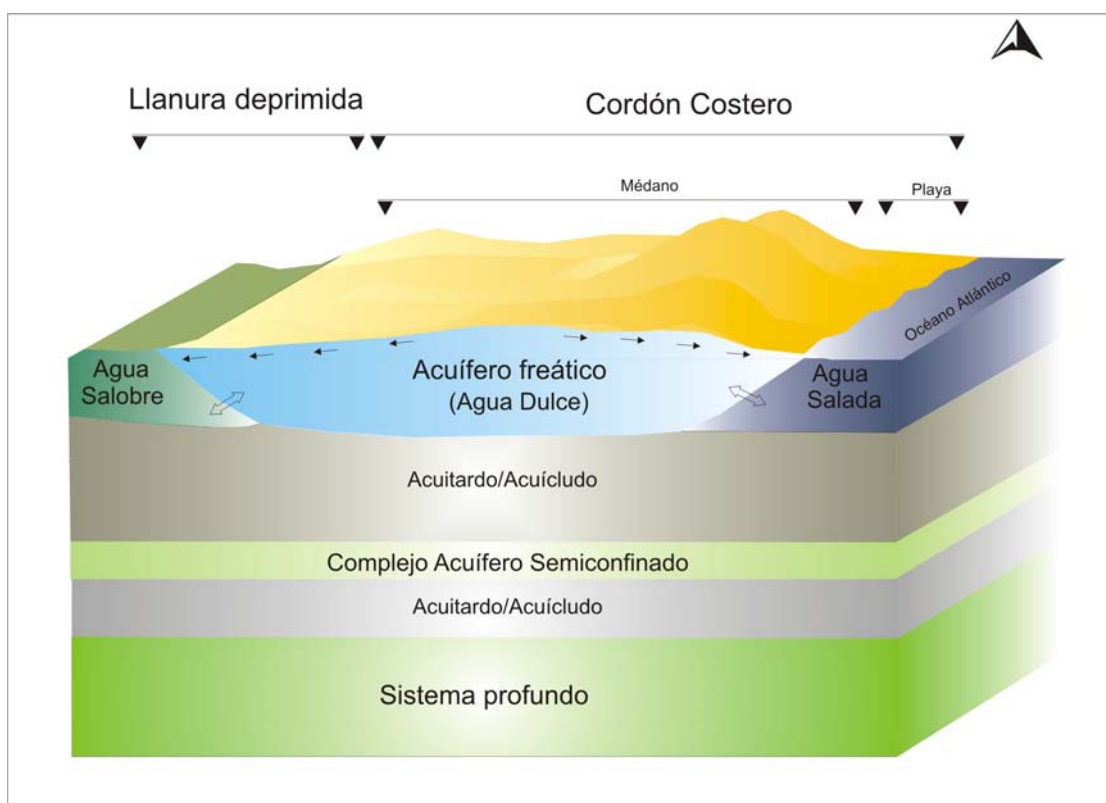


Figura 3.13. Esquema hidrodinámico regional

La divisoria de aguas subterráneas de dirección general N-S, tuerce levemente al SO a partir de Mar de Ajó, coincidente con las mayores alturas del cordón costero. Las curvas isofreáticas aumentan de norte a sur siguiendo la topografía del cordón medanoso, con valores de 1-2 m s.n.m. en San Clemente y 9 en Punta Médanos. El flujo se desplaza al este y oeste con una componente N-S de menor importancia.

El escurrimiento subterráneo se da en dirección al mar con un gradiente hídrico de 0,004 entre San Clemente y Mar de Ajó, llegando hasta 0,008. Al sur de Nueva Atlantis es de 0,002 y en Punta Médanos 0,001-0,0015. Hacia el oeste, con mayor uniformidad, el valor es de 0,001 y 0,002, salvo en el sector rural de San Bernardo, Mar de Ajó y Nueva Atlantis, que es de 0,0005.

De acuerdo a CFI (1990b) las mediciones del nivel freático entre abril y noviembre de 1987 permitieron determinar el espesor saturado total (EST), y el espesor saturado total sobre el nivel del mar (ESM), definiendo a este último como el límite de la depresión por explotación. Se reconoce un aumento del EST de norte a sur de 5 a 7 m en San Clemente pasando a 11-16 m en Punta Médanos. Una disminución del EST al este y oeste a partir del sector más elevado. Idéntico es el comportamiento del ESM con 0,7- 0,8 m en San Clemente a 1,5 -7,5 m en Punta Médanos.

Según estos mismos autores (CFI, 1990b) se reconoce la existencia de efectos localizados en los mayores centros urbanos, como depleción por sobre bombeo en época estival, que produce un avance del frente salino sobre el cordón costero que crece en magnitud e influencia con el tiempo (San Bernardo y Mar de Ajó).

El acuífero freático se caracteriza por presentar una baja salinidad, y en general bajo contenido de cationes y aniones en el cordón costero, observándose un desmejoramiento de la calidad química hacia la terraza baja. A su vez, los ambientes constituidos por los mantos arenosos y las crestas de playa son reservorios restringidos. Las diferencias de composición química del agua subterránea en las unidades geomorfológicas se pueden visualizar en la Tabla 3.14.

	Cordón costero	Terraza baja
Residuo seco	75 % menor a 600 mg/L	40 % mayor a 200 mg/L 29 % (1000-2000 mg/L)
Cloruros	75 % menor a 100 mg/L	42 % mayor a 700 mg/L
Bicarbonatos	47 % (200-400 mg/L) 41 % (400- 600 mg/L)	58 % mayor a 600 mg/L
Dureza total	75,5 % (200-400 mg/L)	67 % mayor a 400 mg/L
Sulfatos	99 % menor a 100 mg/L	79 % menor a 100 mg/L

Tabla 3.14. Diferencias de composición química entre las unidades geomorfológicas

La zonación química lateral que se corresponde con la geomorfología se evidencia en los cationes calcio y sodio (más notables), magnesio, potasio. Constituyen una excepción los sulfatos, que presentan valores bajos y uniformes en los dos sectores, esto confirma el esquema hidrodinámico donde la descarga del

cordón costero en la terraza baja se produce con un tramo de conducción muy corto, reconociéndose un aumento de los cloruros sin diferenciación de los sulfatos. En el cordón costero se reconocen aguas de tipo bicarbonatada cálcica mientras que en la terraza baja son principalmente cloruradas sódicas, con algo de bicarbonatada clorurada sódica. En las formas positivas de crestas de playa a mantos arenosos se trata de aguas bicarbonatadas cálcicas y en los canales de marea (cañadones), clorurada sódica.

El diagnóstico hidroquímico regional (CFI, 1990b) indica que el cordón costero presenta bajos tenores en las áreas centrales (divisoria subterránea) que aumentan en ambos sentidos de escurrimiento. De acuerdo a la evolución vertical, aumentan las concentraciones en profundidad, lo cual es más notorio en el área de San Clemente - Mar del Tuyú con una secuencia bicarbonatada cálcica, bicarbonatada sódica, clorurada sódica. En el resto del cordón es bicarbonatada cálcica con pasajes a bicarbonatada sódica en el contacto con el acuífero semiconfinado.

En la terraza baja empeora la calidad del agua asociado a que es zona de descarga del cordón costero, y por su lento drenaje debido a la morfología y presencia de sedimentos arcillosos que producen un aumento de los contenidos respecto al cordón.

En las crestas de playa (relieve positivo) se originan reservorios restringidos con aguas de buena calidad, bicarbonatadas cálcicas. En los canales de marea (relieve negativo) se presentan aguas de tipo clorurada sódica y bicarbonatada clorurada sódica. La evolución vertical es similar a la del cordón costero con cambios más marcados. Regionalmente, disminuyen los contenidos hacia el sur a medida que aparecen los mantos arenosos. En toda la región es poco significativa la concentración de fluoruros, sulfatos, nitratos.

3.5.3. Complejo Acuífero Semiconfinado (CAS)

En el área de Punta Médanos presenta características netamente acuíferas y por aguas de baja salinidad. Los ensayos a caudal constante mencionados por CFI (1990b) para la zona de Ea. Rincón de Cobo indican una T de 182 m²/d y S de 3,8 x10⁻⁴ (método de Walton) y T de 224 m²/d y S de 10⁻⁴ – 10⁻⁵ (Hantush), generalizándose para el acuífero una T de 180-220 m²/d y un S del orden de 10⁻⁴.

La recarga al acuífero semiconfinado es por filtración vertical del acuífero freático a través de la unidad acuitardo-acuícludo (Fm. Pozo nº 8, facies La Victoria) que actúa como semiconfinante. Las variaciones litológicas laterales generan áreas de mayor alimentación. La descarga es preferentemente hacia el mar, en menor medida al oeste, y hacia el norte hay una componente mínima limitada por los cambios litológicos.

En profundidad se produce una lenta filtración vertical que supera el basamento hidrogeológico e influye sobre el paquete plioceno-mioceno, caracterizado por elevada salinidad y escasa dinámica.

Donde el CAS tiene mejores condiciones hidrodinámicas y químicas, no existe un marcado urbanismo y las explotaciones pertenecen al área rural (molino para ganado). Representa un acuífero de alta vulnerabilidad a la contaminación y sobreexplotación por su extensión areal reducida e inestabilidad de los límites hidráulicos y por los contactos con aguas de elevada salinidad (CFI, 1990b).

La hidroquímica entre de Mar de Ajó-Punta Médanos, muestra que en el cordón costero el agua es de mejor calidad, en cambio en la terraza baja, se observa una salinidad elevada hacia el área de descarga, y también hacia la gradación lateral a arcillas. Para la caracterización hidroquímica (CFI, 1990b), regionalmente, se divide en 3 áreas denominada como zona 1 la ubicada al norte de Nueva Atlantis, donde el Complejo mantiene condiciones de acuífero y va perdiéndolo para comportarse como acuitardo y acuícludo. La zona 2 se localiza al sur de la zona 1, en sector rural hasta Ea. Rincón de Cobo. Por último la zona 3 se encuentra en el extremo sur (Figura 3.14).

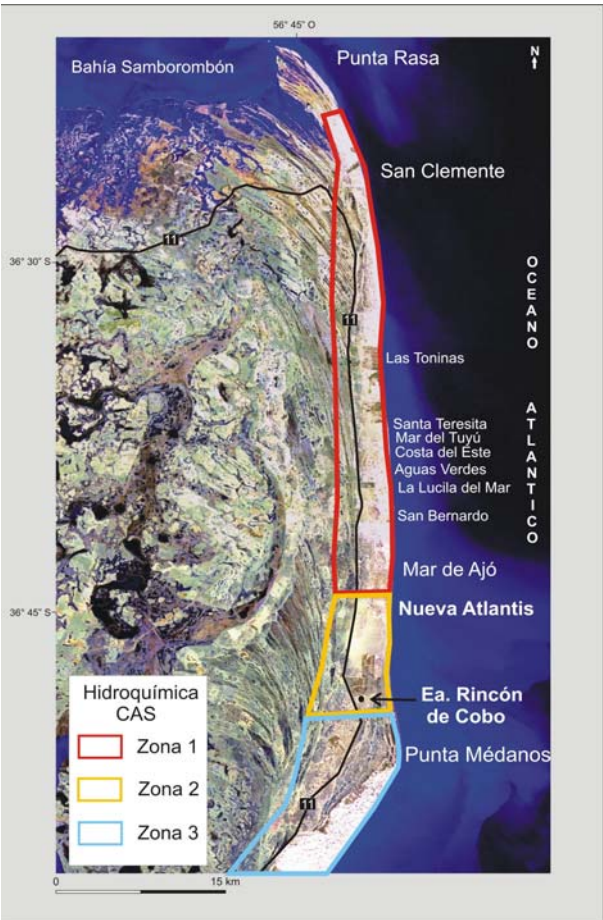


Figura 3.14. Mapa de zonas hidroquímicas para el CAS

En la Tabla 3.15 se pueden observar los tenores para las determinaciones realizadas.

	Cloruros (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Bicarbonatos (mg/L)	Dureza Total (mg/L)	Residuo Seco (mg/L)	Familia
Zona 1	300-400	3-13	1500-2000	100-340	2000	bicarbonatada-sodica pasando a clorurada-sodica al norte
Zona 2	100-200	valores muy bajos	1000-1500	150-200	1000-2000	bicarbonatada-sodica
Zona 3	30-80	3-5	400-600	30-80	1000, disminuye a 400-600 en el área central	

Tabla 3.15. Parámetros químicos para el acuífero semiconfinado.

Este reservorio presenta una gran variabilidad en arsénico (0,02-0.16 mg/L), fluoruros (0,1-0,5 mg/L), hierro (vestigios a 3,5 mg/L) y manganeso (0 a 0,6 mg/L), parámetros que resultan independientes del contenido salino, ubicación, geomorfología y profundidad.

.

4. CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS EN SAN CLEMENTE DEL TUYÚ

4.1. Hidrogeología

El esquema hidrogeológico regional descripto es aplicable en el ámbito local, con particularidades que se deducen del análisis de las perforaciones disponibles, las cuales presentan una distribución heterogénea y en general son de escasa profundidad. Además fueron realizadas con distintos objetivos y en muchos casos la descripción estratigráfica carece de la precisión y un detalle adecuado.

La localización de estos pozos puede observarse en la Figura 4.1. Otros datos de interés sobre las perforaciones analizadas se exponen en la Tabla 4.1

Organismo	Dir. Nac. de Minería				CFI			Mundo Marino	Girardi
N° de pozos	13	12	1	1	3			1	2
Denominación	1-9 13-15 24	10-12 15-23 25	26	28	Pr-3	Pr-5	SHN-1	Zona Puerto	PE-1 PE-2
Prof. Máxima alcanzada (m)	20	50-64	112,7	1205,2	12,4	9,5	22,4	117	8,4
Fecha	1952				1988			--	1994

Tabla 4.1. Datos de las perforaciones disponibles en San Clemente

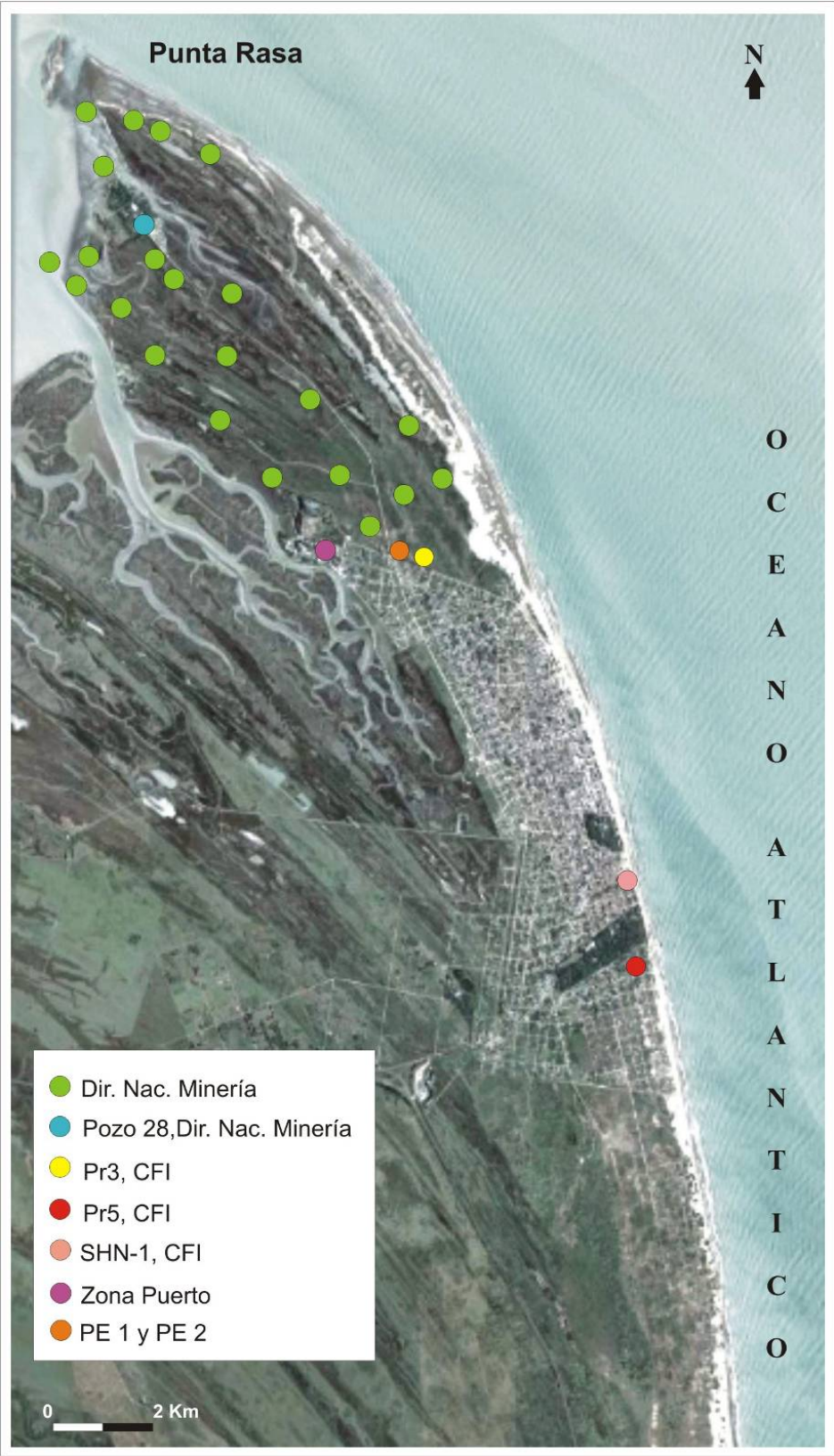


Figura 4.1. Mapa de ubicación de las perforaciones

La información existente permite diferenciar un sistema hidrogeológico somero y uno profundo.

La caracterización y análisis de mayor detalle corresponde al somero, que aloja lentes de agua dulce y está directamente relacionado con el ciclo hidrológico actual.

Para el profundo se carece de datos y sólo es posible definirlo como un sistema de baja permeabilidad que incluye algunos niveles arenosos que contienen agua de alta salinidad y se localiza a partir de los 92 m de profundidad.

En la Tabla 4.2 se resumen las principales características del sistema somero que está compuesto por una unidad acuífera (freático), dispuesto sobre una base acuícluda con niveles acuitardos y acuíferos de alta salinidad

<u>Hidrogeología</u>	<u>Litología</u>	<u>Formación</u>	<u>Modelo geoelectrico</u> (resistividad en Ω m)
Acuífero freático	arena fina a mediana	Punta Médanos	10-100
	arena conchilífera	Pozo n° 17 (Facies Mar de Ajó)	
Acuícludo con niveles acuitardos y acuíferos de alta salinidad	arcilla/limo finamente arenosos y arcillas de diferentes coloraciones	Pozo n° 8 (Facies Destacamento Río Salado)	< 10
	arcilla/limo calcáreo con fragmentos de tosca	Buenos Aires	
	arcilla arenosa y arena arcillosa calcárea	Pozo n° 10	

Tabla 4.2. Sección tipo área San Clemente del Tuyú y alrededores

El acuífero freático está compuesto por una secuencia de arenas finas a medianas con un contenido variable de fragmentos de valvas y detritos vegetales con un espesor entre 4,5 y 10 m que pertenecen a las Formaciones Punta Médanos y la facies Mar de Ajó de la Formación Pozo n° 17 (Figura 4.2).

En Punta Rasa (perfiles de la Dirección Nacional de Minería), el espesor varía entre 4,5 y 8 m. En la zona Puerto la potencia es de 7,5 m con arenas negras friables. En el sector norte del radio urbano San Clemente, Girardi (1994) indica una variabilidad en el contenido de valvas que aumenta hasta aproximadamente los 5 m en donde se ubica un nivel de conchillas arenosas de entre 0,2 y 1,5 m de espesor, para luego continuar con las arenas hasta los 8 m de profundidad donde se detecta la presencia de arcillas verde grisáceas como fin de la perforación. En el pozo SHN-1 (CFI, 1990b) esta unidad comienza con 3,6 m de arena fina de color castaño incrementando su contenido de conchillas con la profundidad, hasta intercalarse con una capa de 3 m de conchilla con arena, para continuar con 4 m de arenas más gruesas de color grisáceo. A su vez en el Pr5 (pozo de reconocimiento 5) se destaca la presencia de arenas medianas a finas que gradan a medianas y gruesas con escasas valvas en los primeros 3,5 m para luego incrementar su contenido hasta los 7 m, a partir de donde se observan 2 m de unas arenas con abundante matriz arcillosa. Termina la secuencia con la presencia de arcillas grisáceas a castañas. El Pr3 es similar al Pr5 comenzando con arenas medianas a finas sin conchillas en los primeros 1,5 m, luego aparece la presencia de abundantes fragmentos de valvas hasta los 8,5 m de profundidad.

En la base del acuífero freático se desarrolla la unidad acuícluda con intercalaciones acuíferas y acuitardas. Al paquete arenoso descripto, le siguen 10 a 15 m de material limo arcilloso finamente arenoso con restos de bivalvos o arcillas de diferentes coloraciones que se corresponderían con la Formación Pozo n° 8.

En dos de los pozos de Punta Rasa (Dir. de Minería) se describen potencias mayores, resultando en un caso 35 m y en el otro 60 m en donde se finaliza la perforación. Para la zona Puerto se describen 15 m de arcilla azul con intercalaciones de conchillas y carbonatos, seguido por una fina capa de arenas cuarzosas con intercalaciones de arcilla y conchilla. En el pozo SHN-1 son arcillas grises y verdes con conchillas hasta los 22,40 m donde se concluyó la perforación debido a que el trépano se encontró con terreno muy compacto, recuperándose un limo arenoso gris amarillento a blanquecino, con rodados castaño claro de limos entoscados muy duros.

La secuencia continúa con un paquete arcilloso, que para los perfiles de la Dirección de Minería presentan entre 5 y 10 m resultando una arcilla/limo de tipo calcáreo con fragmentos de tosca y valvas en la mayoría de los casos. Presenta las características de la Formación Buenos Aires. Para el perfil del Puerto se trata de un paquete de 50 m de arcillas azules y verdosas con conchillas.

Le siguen otro conjunto de arcillas, en ocasiones más arenosas, con restos de valvas, de un espesor entre 10 y 20 m que cambia a una arena arcillosa calcárea, con fragmentos de valvas. En los perfiles de Punta Rasa aparece a partir de los 30 m de profundidad aproximadamente y continúa hasta el fin de las perforaciones. En la zona Puerto son arcillas arenosas y arenas arcillosas que se extienden hasta los 92 m. La litología se corresponde con la Formación Pozo n° 10.

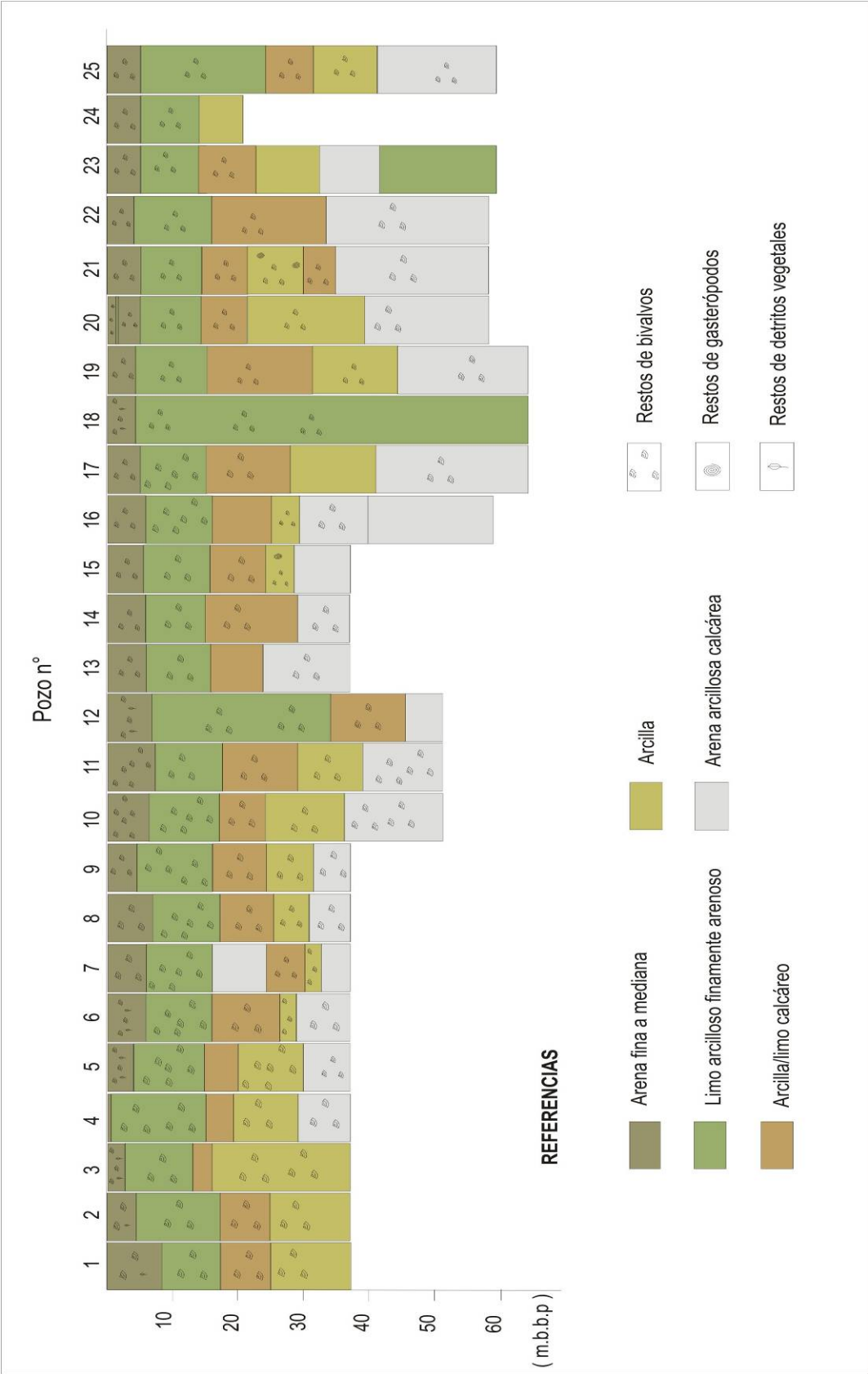


Figura 4.2. Perfiles del 1 al 25 pertenecientes a la Dirección Nacional de Minería

La descripción de la geología local se corresponde con el esquema regional tomado de Yrigoyen (1975) y se ve representado en las perforaciones profundas como se describe a continuación, constituyendo lo definido como sistema profundo.

A partir de los 92 m se describen arenas que para el pozo del Puerto son cuarzosas mediana a gruesa que se extienden hasta el fin de la perforación a los 117 m. El pozo n° 26 de la Dirección de Minería presenta las mismas características descriptas previamente hasta los 92 m donde aparece un paquete de 13 m de arenas pardas claras con abundantes bivalvos y finaliza con arenas arcillosas. En el pozo n° 28, son 12 m de arena fina a mediana parda amarilla con gránulos silíceos y restos indeterminables de bivalvos. Este nivel podría corresponderse con las "Arenas Puelches".

Con los datos del pozo n° 28 cercano al Faro de Punta Rasa, se reconoce la secuencia sedimentaria hasta los 1205,20 m de profundidad. A partir de los 159 m de profundidad hasta los 792, se presenta una secuencia de arcillas, arcilla limosa y arcilla arenosa de color verdoso, en general, con escasos restos de bivalvos que podría identificarse como la Formación Paraná ("Mioceno Verde"). Continúa la columna desde los 792 hasta los 1205 m un conjunto formado por arcillas, arenas y limos de colores rojizos con restos de valvas de la Formación Olivos ("Mioceno Rojo"). (Figura 4.3.)

A los fines hidrogeológicos resultan de particular interés los estratos arenosos. En los perfiles más profundos (26, 28 y Puerto) se localizan arenas cuarzosas gruesas entre los 90 y 120 m. De acuerdo a las perforaciones, la calidad del agua alojada en estas arenas es de elevada salinidad quedando como único recurso disponible para el abastecimiento humano el agua freática contenida en el sistema somero. Debido a ello, el mayor tratamiento se centra en este último.

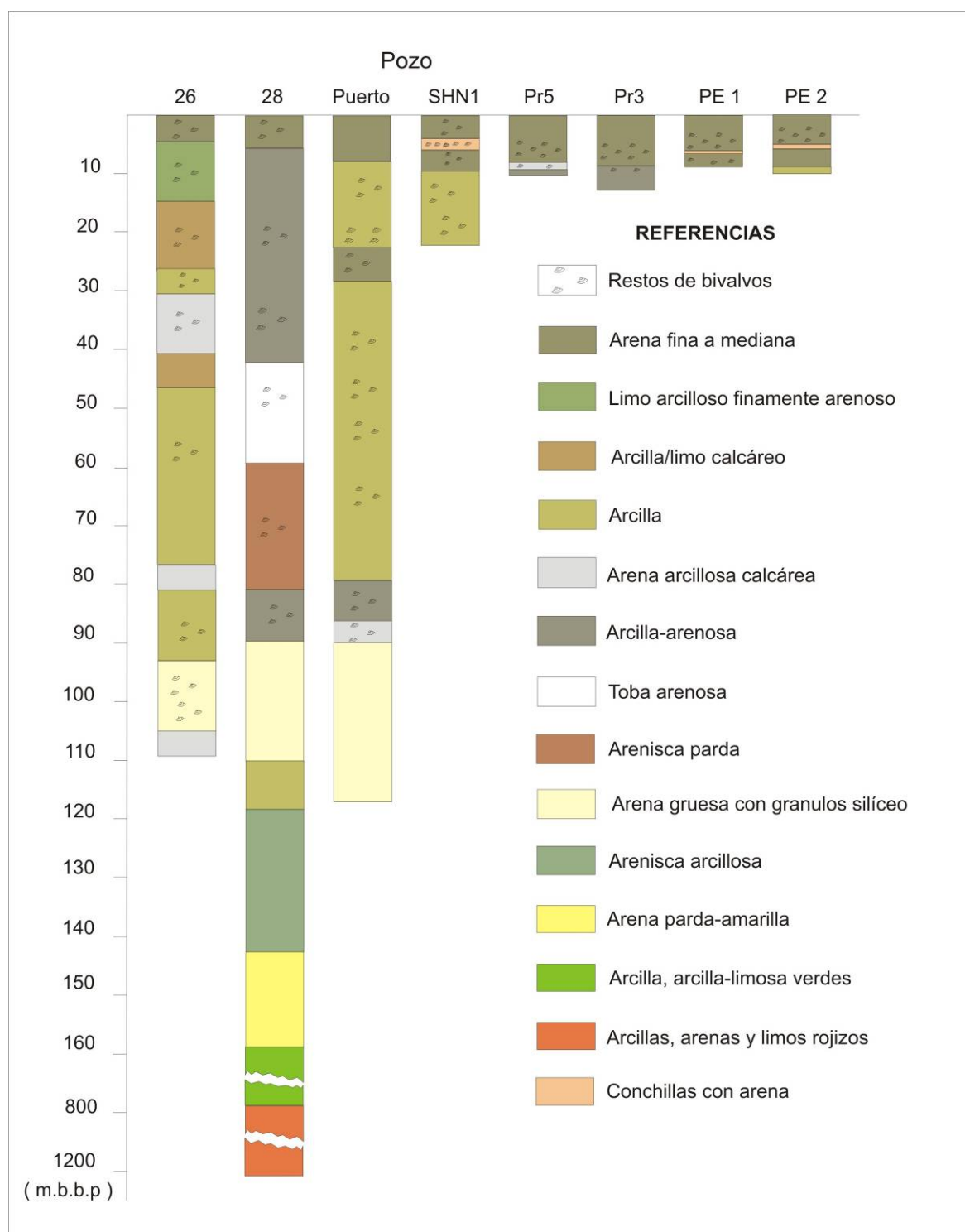


Figura 4.3. Perfiles de mayor profundidad de la Dirección Nacional de Minería (26 y 28), junto a los realizados por el CFI, el localizado en la Zona Puerto y Girardi (1994)

Con el objetivo de obtener cortes de resistividad del subsuelo para inferir el espesor del acuífero freático y aproximar la ubicación de la interfase entre el agua de baja y alta salinidad se realizaron sondeos geoelectricos cuya localización se ve en la Figura 4.4. Los datos geofísicos constituyen un elemento más que permite verificar el esquema hidrogeológico.

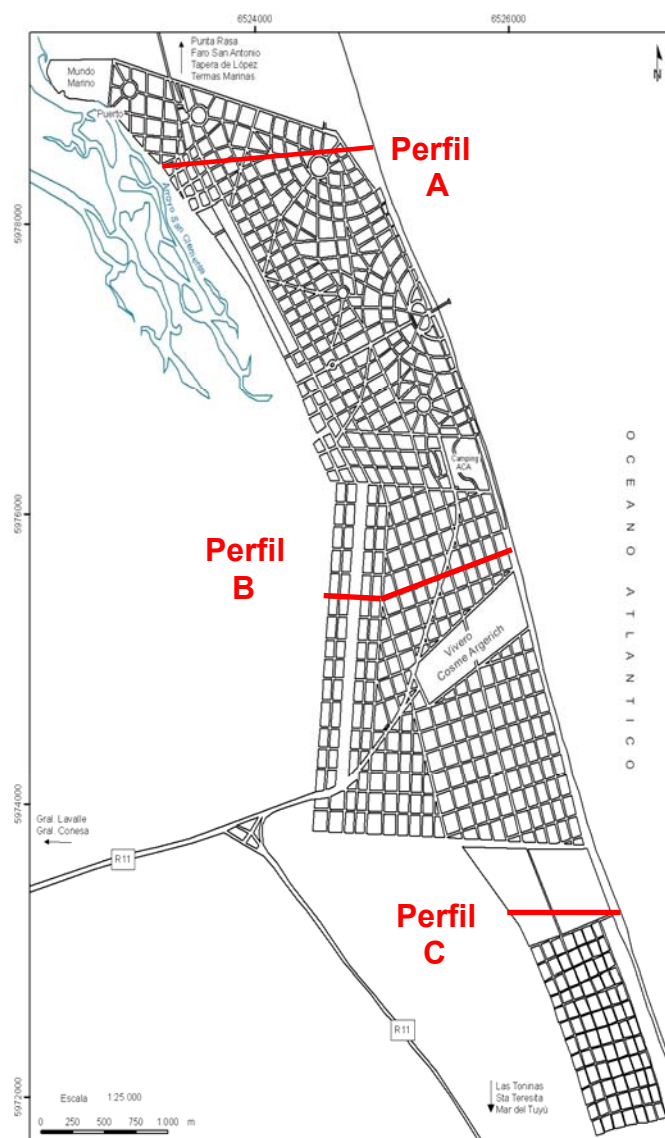


Figura 4.4. Mapa de ubicación de los perfiles geoelectricos

El acuífero freático con agua dulce está representado por las capas con resistividades entre 10 y 100 $\Omega.m$. El sustrato conductor de resistividad menor a 10 $\Omega.m$ corresponde tanto a la base acuicluda como a una capa con agua de elevada salinidad. Los valores mayores a 100 $\Omega.m$ representan a la zona no saturada.

De acuerdo a estos datos, en el perfil A (Figura 4.5) constituido por 6 SEV realizados en una transecta de 1500 m, el espesor del acuífero oscilaría entre 4 y 6 m.

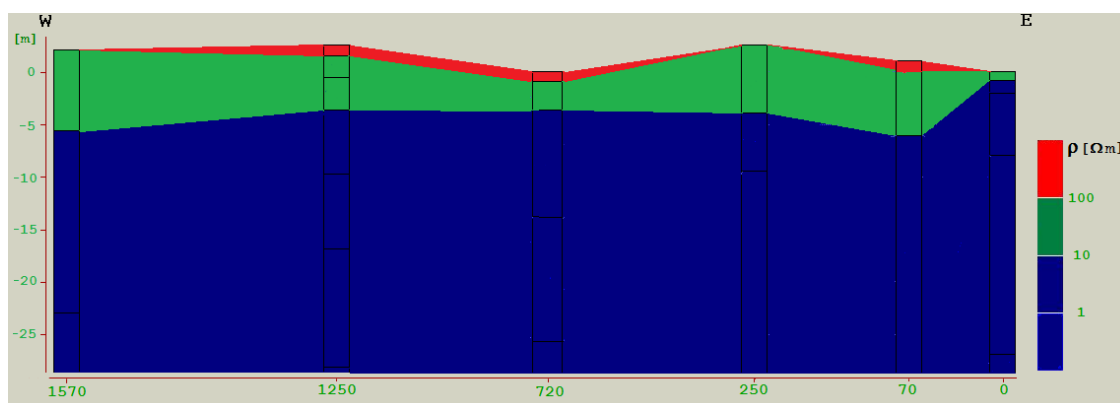


Figura 4.5. Perfil A

En el perfil B (Figura 4.6) donde se realizaron 5 SEV a lo largo de 2000 m, el espesor del acuífero resulta mayor, alcanzando a 7 m de potencia desde la costa hasta los 1200 m en dirección oeste, para luego disminuir notablemente. Los horizontes con valores menores a 10 $\Omega \cdot m$ que se observan en los límites al este y oeste del acuífero podrían representar, en el primer caso, la interfase con el agua salada marina, y en el segundo con el agua salobre de la llanura deprimida lo cual se puede correlacionar con la elevada conductividad del agua de los pozos de la red de monitoreo en esa zona.

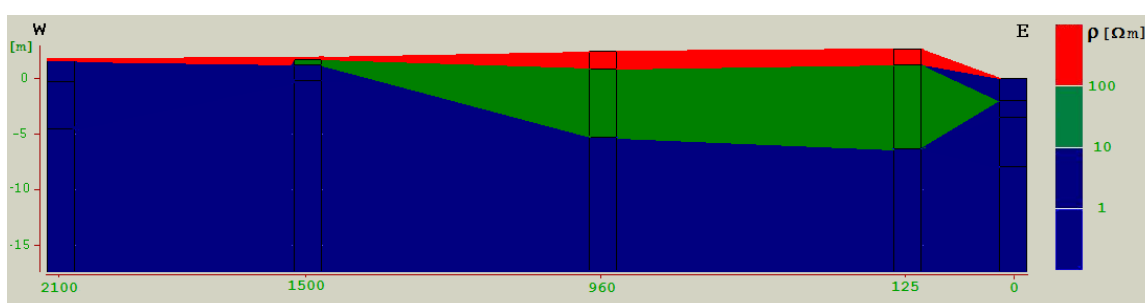


Figura 4.6. Perfil B

En el perfil C (Figura 4.7) donde se efectuaron 4 SEV en 1200 m el acuífero freático tiene una potencia máxima de 10 m en el sector central disminuyendo hasta los 6 m hacia el este y 4 hacia el oeste.

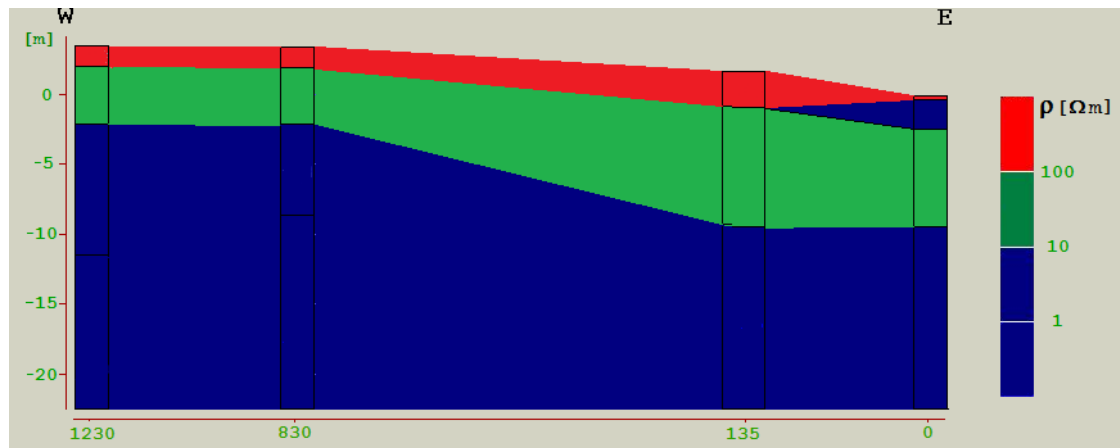


Figura 4.7. Perfil C

De acuerdo a lo analizado, se puede concluir que el espesor del acuífero freático en su sector central varía entre 4 y 10 m aumentando su potencia de norte a sur y disminuyendo hacia el este hasta la interfase con el agua salada marina y al oeste donde lo hace con el agua salobre continental. (Figura 4.8)

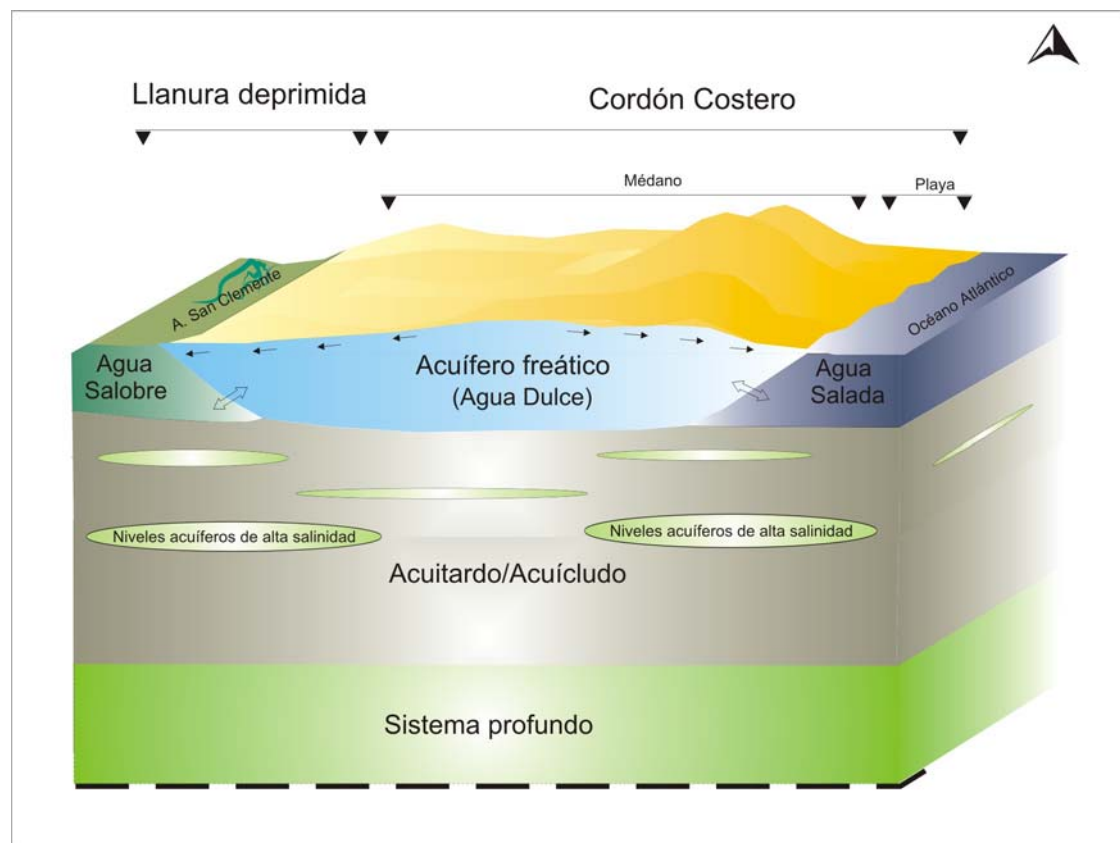


Figura 4.8. Esquema hidrogeológico para el sector de San Clemente

4.2. Ambientes geomorfológicos

Tal como fue indicado, dada la falta de un mapa topográfico que permita reconocer la morfología a una escala adecuada se construyó un mapa a escala 1:25000, en base a las nivelaciones de los pozos relevados en distintas oportunidades a los cuales se adicionaron puntos estratégicamente ubicados para contar con una densidad suficiente de valores de cota topográfica.

En el mapa (Figura 4.9.) pueden observarse dos altos topográficos con 3 m s.n.m. en la zona central del médano, una hacia el norte y la otra hacia el sur. Las alturas disminuyen levemente hacia el oeste y al este.

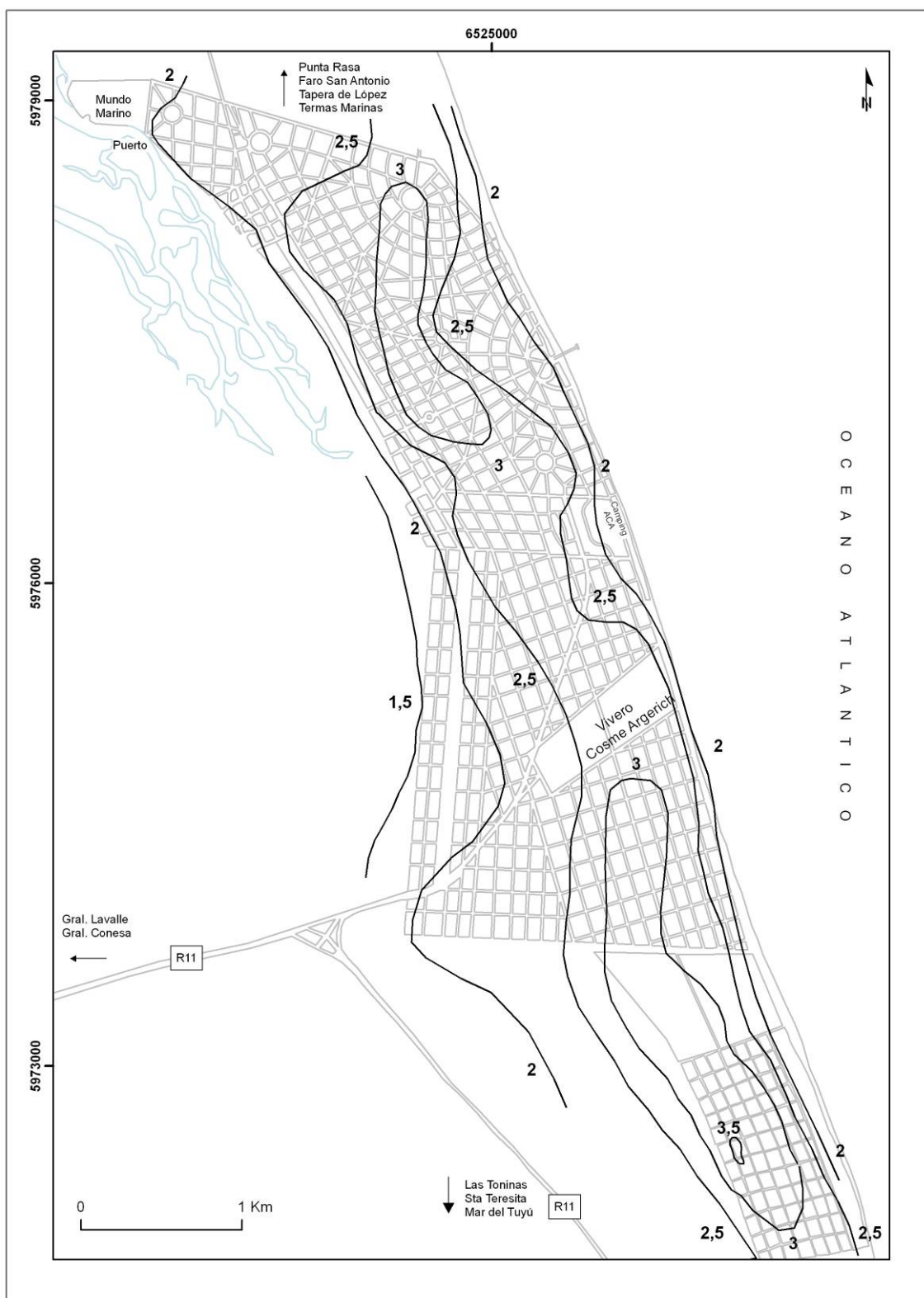


Figura 4.9. Mapa topográfico de San Clemente del Tuyú a escala 1:25000

4.2.1. Cordón costero y llanura deprimida

Se reconocen dos ambientes geomorfológicos, la llanura deprimida, que forma parte de lo definido regionalmente como terraza baja y el cordón costero. (Figura 4.10.)



Figura 4.10. Ambientes geomorfológicos en el área de San Clemente

La llanura deprimida, en esta zona, se encuentra abierta y comunicada al estuario del Río de La Plata en la Bahía de Samborombón. El drenaje se efectúa por el Arroyo San Clemente a través de canales de marea en los cuales se desarrollan cangrejales (Figura 4.11).



Figura 4.11. Cangrejales en la llanura deprimida

En la zona de Punta Rasa puede observarse la desembocadura de los canales de marea, áreas inundables por la influencia mareal. (Figura 4.12)



Figura 4.12. Llanura deprimida en la zona de Punta Rasa

En el sector sur, este ambiente se manifiesta mediante la presencia de bajos que a su vez resultan fácilmente inundables debido a las altas precipitaciones y al ascenso de los niveles freáticos. (Figura 4.13)



Figura 4.13. Bajos inundables de la llanura deprimida en el sector sur.

El cordón costero, está representado por dos subambientes: playa y médano. La zona de playa es rectilínea, tiene entre 50 y 150 m de ancho, con pendientes suaves hacia el este, las arenas son finas a medias con presencia de fragmentos de valvas (Figura 4.14).



Figura 4.14. Sector de playa, el color blanquecino que se observa en la arena son acumulaciones de fragmentos de valvas.

Los médanos que se encuentran emplazados al oeste de la playa que les da origen (Figura 4.15) son bajos (superan levemente los 3 m s.n.m.) y fijados por escasa vegetación. Su granulometría es de arenas finas y presentan, arealmente, un decrecimiento general del tamaño de grano de sur a norte.



Figura 4.15. Puede observarse la zona de transición entre la playa y la cadena de médanos

Este rasgo morfológico puede ser subdividido en médano fijo y médano activo. El médano activo, se localiza adyacente a la playa hacia el oeste sobre la línea de costa y conserva su dinámica de transporte debido a los vientos provenientes del este. Si bien se observa la presencia de vegetación, ésta es escasa tratándose en general de especies que se caracterizan por presentar extensos sistemas de raíces y tallos subterráneos, lo que ayuda a consolidar la arena de la duna. En el sector sur la presencia de vegetación es aún menor (Figura 4.16)

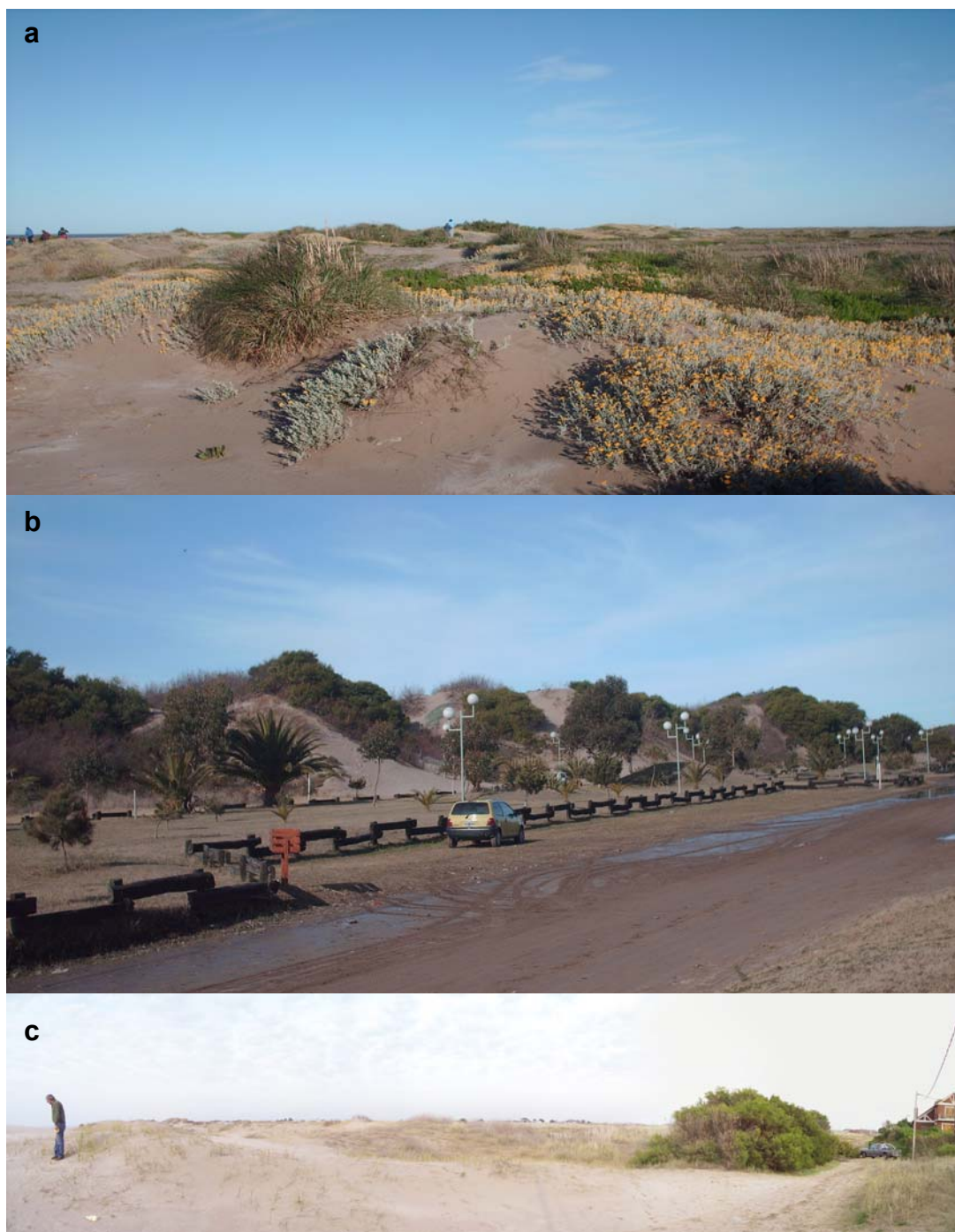


Figura 4.16. Médano activo, con escasa vegetación; a- sector en Punta Rasa, b- zona norte de la ciudad, c- zona sur

El médano fijo se encuentra al oeste del médano activo, y se observa una mayor presencia de vegetación que ha fijado el sustrato arenoso impidiendo su movilización. En ocasiones se trata de especies típicas de dunas y en otras, introducidas por el hombre con propósitos recreacionales (plazas, campings, etc) (Figura 4.17) La presencia de la urbanización extendida a lo largo de la localidad es

otro factor que ha contribuido a la compactación de las arenas del médano tanto mediante la construcción de viviendas como al trazado de calles.



Figura 4.17. Médano fijo, debido a la vegetación y la urbanización

4.2.2. Evolución del paisaje

A partir de la observación y análisis de las fotografías aéreas de 1958 (Servicio de Hidrografía Naval), 1984 (Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires) e imagen satelital de 2005, de Digital Globe, Google Earth, se reconoció la evolución del médano a través del tiempo.

Mediante el uso de un SIG se han digitalizado las áreas correspondientes al médano fijo, médano activo y playa, y se trazó el límite con la llanura deprimida en cada una de las imágenes mencionadas. Para cada sector delimitado se calculó el área correspondiente en km².

Para un análisis más detallado, a su vez se dividió la zona de estudio en tres partes, norte, central y sur (Figura 4.18). El primer sector se extiende desde Punta Rasa hasta donde comienza el trazado de la ciudad en la Avenida IX. La zona central

se corresponde con lo que actualmente abarca la mayor concentración de urbanización entre la Avenida IX y el Vivero Cosme Argerich en la Avenida XIV, mientras que el sector sur comienza en el límite con la Avenida XIV y termina en la calle 112 donde finaliza el trazado de la localidad.



Figura 4.18. Ubicación de las zonas para el estudio geomorfológico

En la tabla 4.3 pueden observarse las áreas calculadas para el médano y la playa. Cabe aclarar que es dificultoso realizar un estudio sobre la playa a partir de las fotos e imágenes disponibles. Esto se debe a que han sido tomadas en diferentes horarios con distintos estadios en el ciclo de marea.

Km ²	1958	1984	2005
Médano fijo	13,6	16,3	18,2
Médano activo	5,2	3,6	2,9
Playa	1,4	0,7	2,7

Tabla 4.3. Valores de áreas calculados para el médano y la playa en los diferentes años estudiados.

La evolución del médano fijo manifiesta un aumento de su superficie en detrimento del médano activo (Figura 4.19)

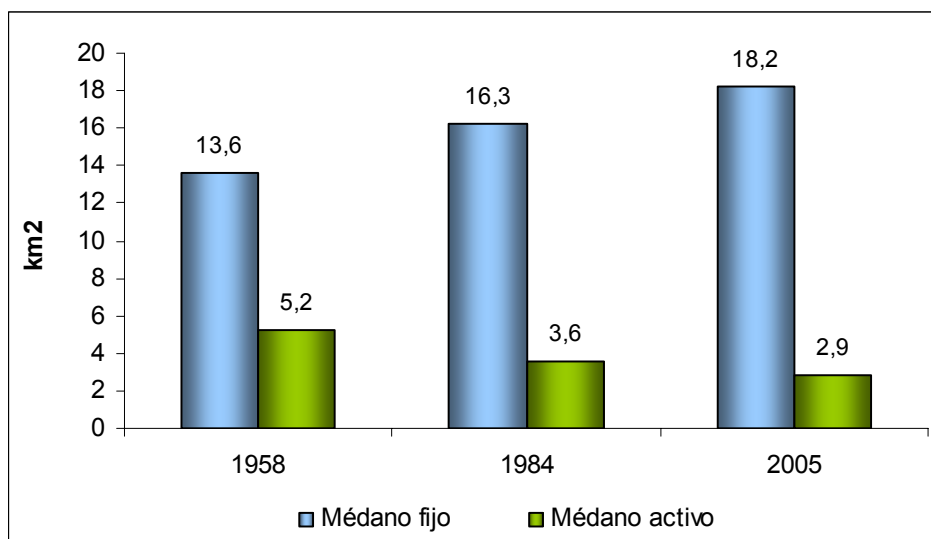


Figura 4.19. Evolución del médano fijo y activo a través del tiempo.

En 1958, el 22% del médano activo se localizaba en el sector norte, el 23% en la zona central y el 41% en el sur. Para 1984 los valores disminuyen a 15, 8 y 35% para el norte, centro y sur respectivamente. Finalmente en 2005, el sector norte cuenta con el 18% del médano activo, el centro con el 7% y el sur con el 17%. (Figura 4.20)

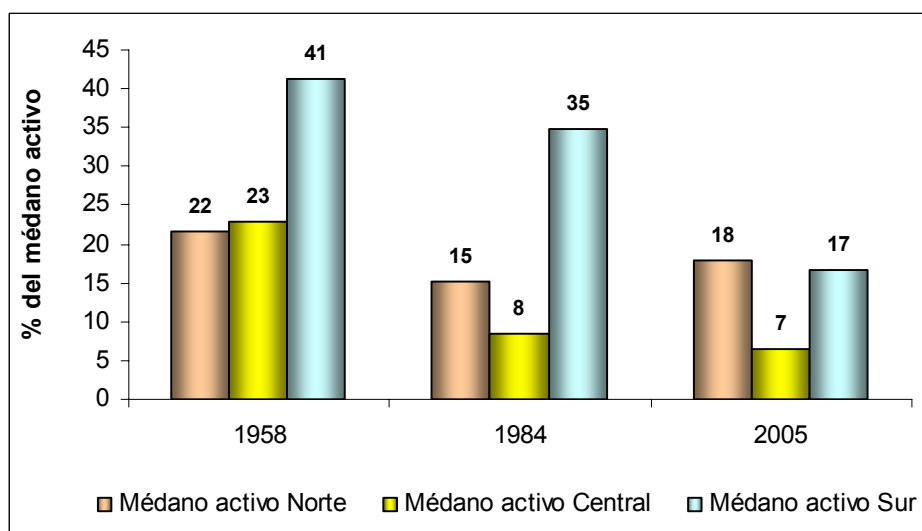


Figura 4.20. Porcentajes del médano activo distribuido por sectores.

Se calcularon los porcentajes de variación del médano activo en las áreas entre los diferentes años de acuerdo a los sectores delimitados. Las pérdidas de superficie

del médano activo se convierten en un aumento en el área del médano fijo. La fijación no es meramente un proceso natural, sino que también está afectada por acción del hombre mediante el avance de la urbanización.

Así para el sector norte la mayor disminución se da entre 1958 y 1984 con un 6%. Esto se puede observar especialmente en el límite con el sector central donde comienza la urbanización (Figura 4.21). Luego entre 1984 y 2005 el médano activo parece recuperarse levemente ya que aumenta en su superficie del 3%. Si se analizan los cambios acontecidos en los 47 años que distan entre la foto más antigua, 1958, y la imagen satelital, 2005, la disminución es del 4% en total.

En el sector central, existe pérdida de superficie del médano activo entre 1958 y 1984 con un 15%, resultando más del doble de lo acontecido en el norte. La variación entre 1984 y 2005 es casi imperceptible con una pérdida del 1% del área. La pérdida total entre 1958 y 2005 es del 16% de su superficie (Figura 4.22).

Finalmente en el sector sur entre 1958 y 1984 se produce una pérdida del 6% del médano activo que pasa a conformar parte del médano fijo. Entre los años 1984 y 2005 este número es aún mayor resultando en un 18%. El total de médano activo perdido entre 1958 y 2005 es del 24% (Figura 4.23).

Los valores mencionados pueden observarse en la Figura 4.24 en donde se resumen los porcentajes de variación del médano activo a través del tiempo. .

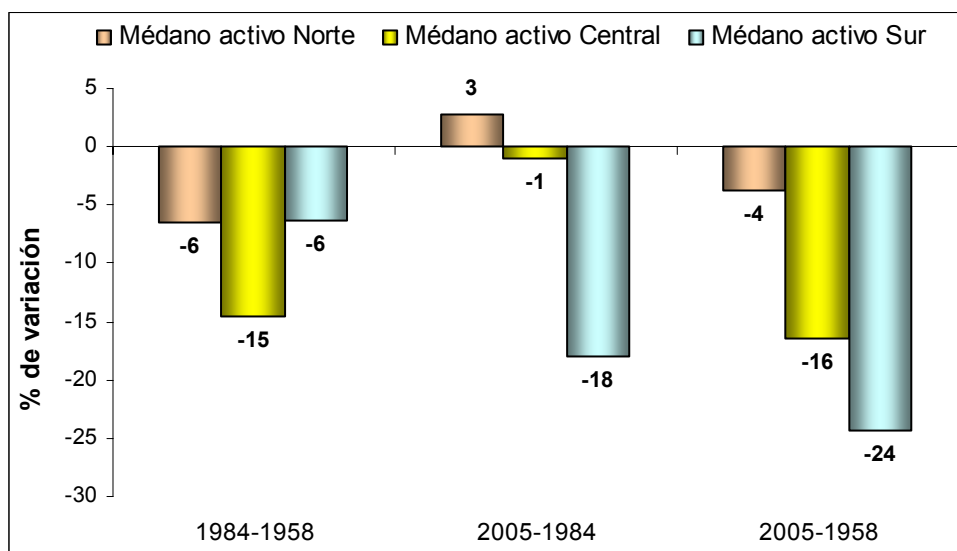


Figura 4.24. Porcentajes de variación del médano activo a través del tiempo

Se concluye que en términos generales el sector norte es el que se ha mantenido más estable a lo largo del tiempo. Nótese que el trazado de la ciudad no se

ha extendido hacia este sector debido a que los terrenos en esta zona pertenecen al dominio militar.

En el sector central es más que notorio el cambio que aconteció entre 1958 y 1984. En la primera fotografía resulta difícil reconocer las calles y las casas del trazado urbano entre el médano, mientras que en 1984 la urbanización resulta ser el rasgo más destacado. Incluso el médano fijo ha sido notoriamente modificado de un periodo al otro, ya que en 1958 se observa como una superficie no tan compactada como parece ser 26 años más tarde. El sector más afectado es el sur, donde el médano activo ha perdido un cuarto de su superficie en 47 años. En la fotografía de 1958, e incluso en la de 1984 casi no se distinguen loteos o construcciones, pero entre 1984 y 2005 se ha producido una fuerte modificación en este paisaje. Hacia el límite con el sector central se observa un gran aumento en la densidad de las viviendas, y un tanto más al sur, un trazado de loteos para futuras edificaciones.

Las variaciones en la superficie del médano están directamente relacionadas con la urbanización y a su vez con el aumento de la población en el área.

La importancia de este análisis reside en la estrecha relación que existe entre el estado del médano y las posibilidades de infiltración. En el médano activo la infiltración de los excesos de agua a través de las arenas resulta de una mayor significación. Si esas arenas están más compactadas, presentan una mayor cantidad de vegetación o se encuentran cubiertas por superficies impermeables (médano fijo), el resultado es la suma de factores que interfieren con el proceso natural del ciclo hidrológico en una zona medanosa, disminuyendo las posibilidades de infiltración.

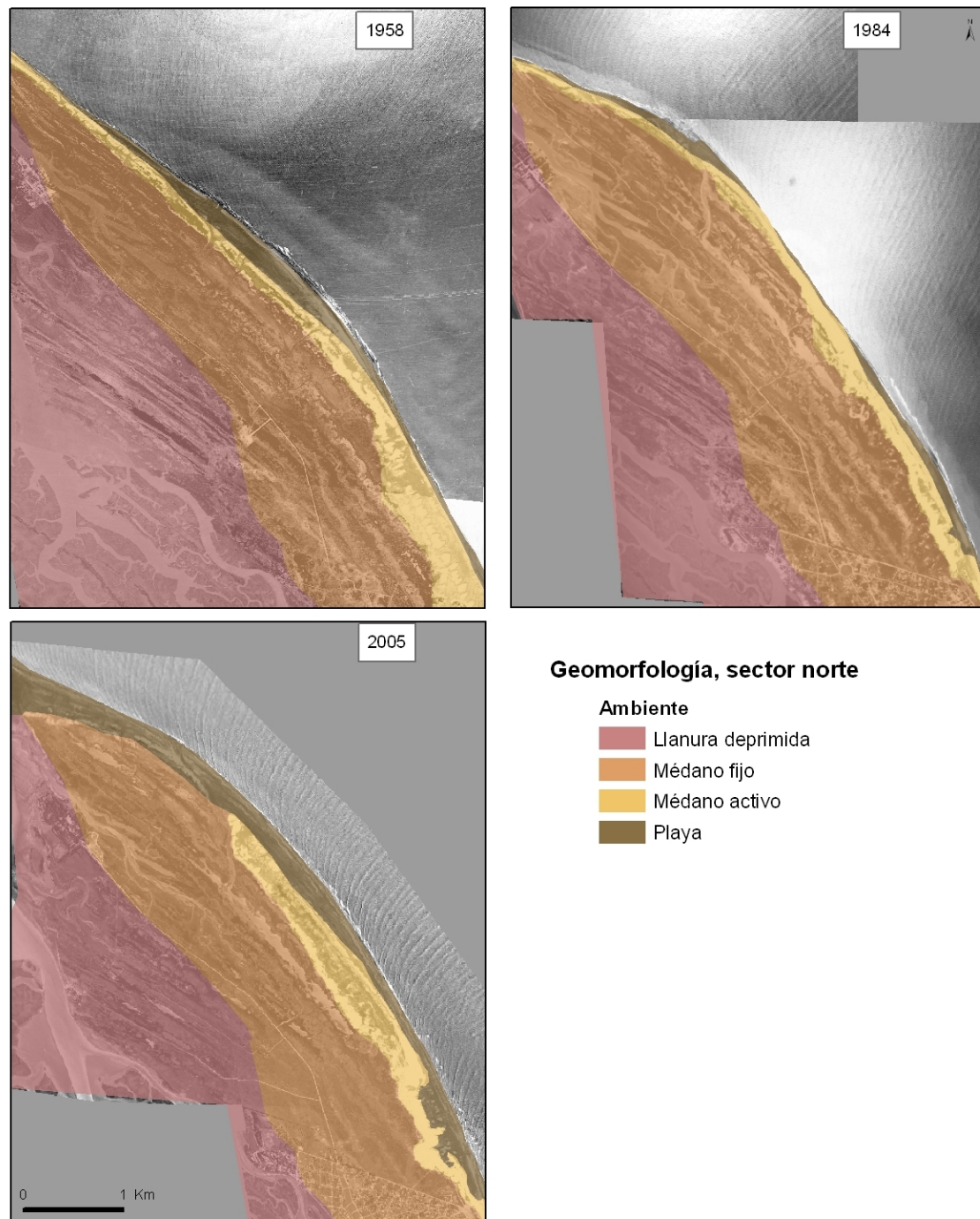


Figura 4.21. Morfología del sector norte a través del tiempo

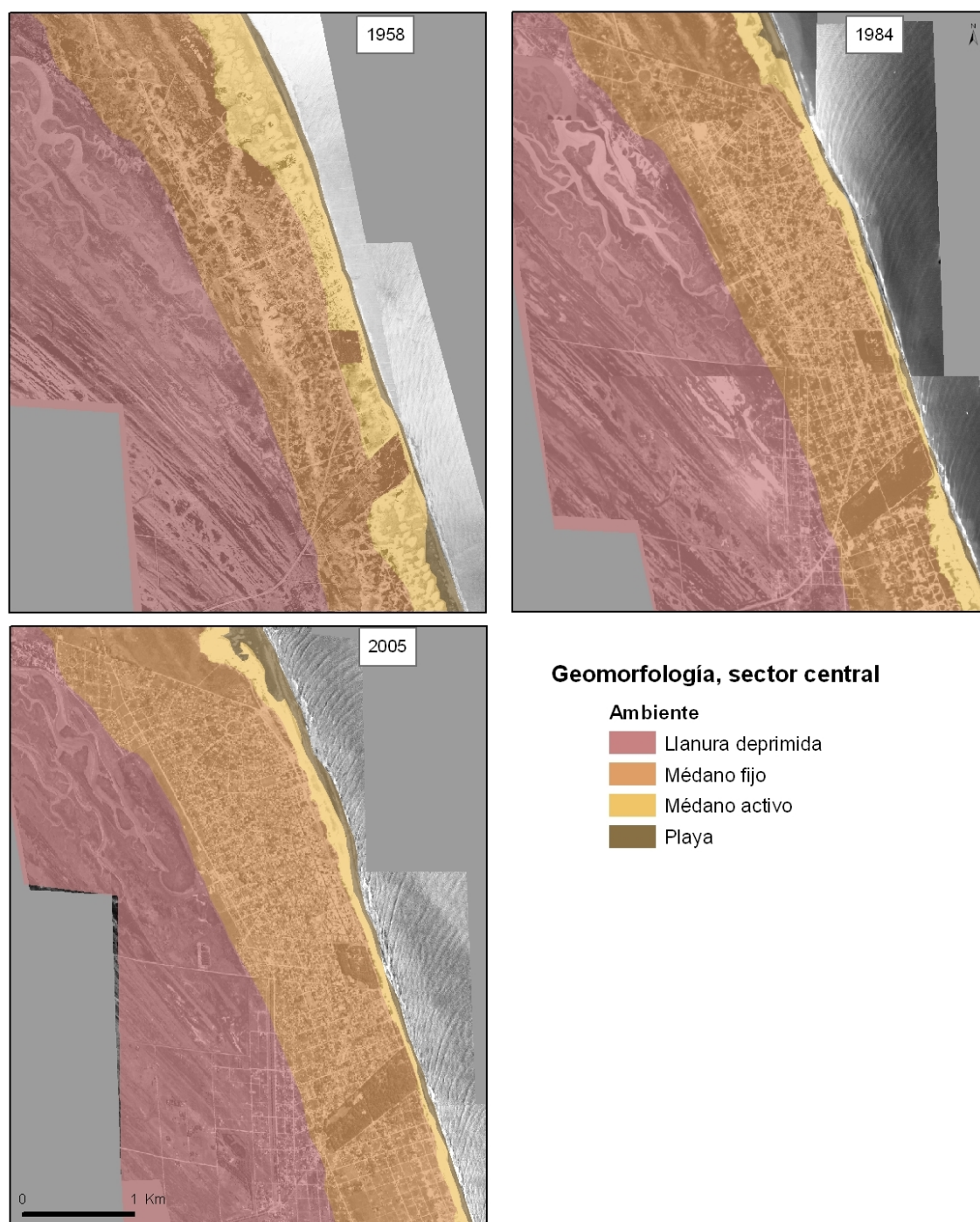


Figura 4.22. Morfología del sector central a través del tiempo

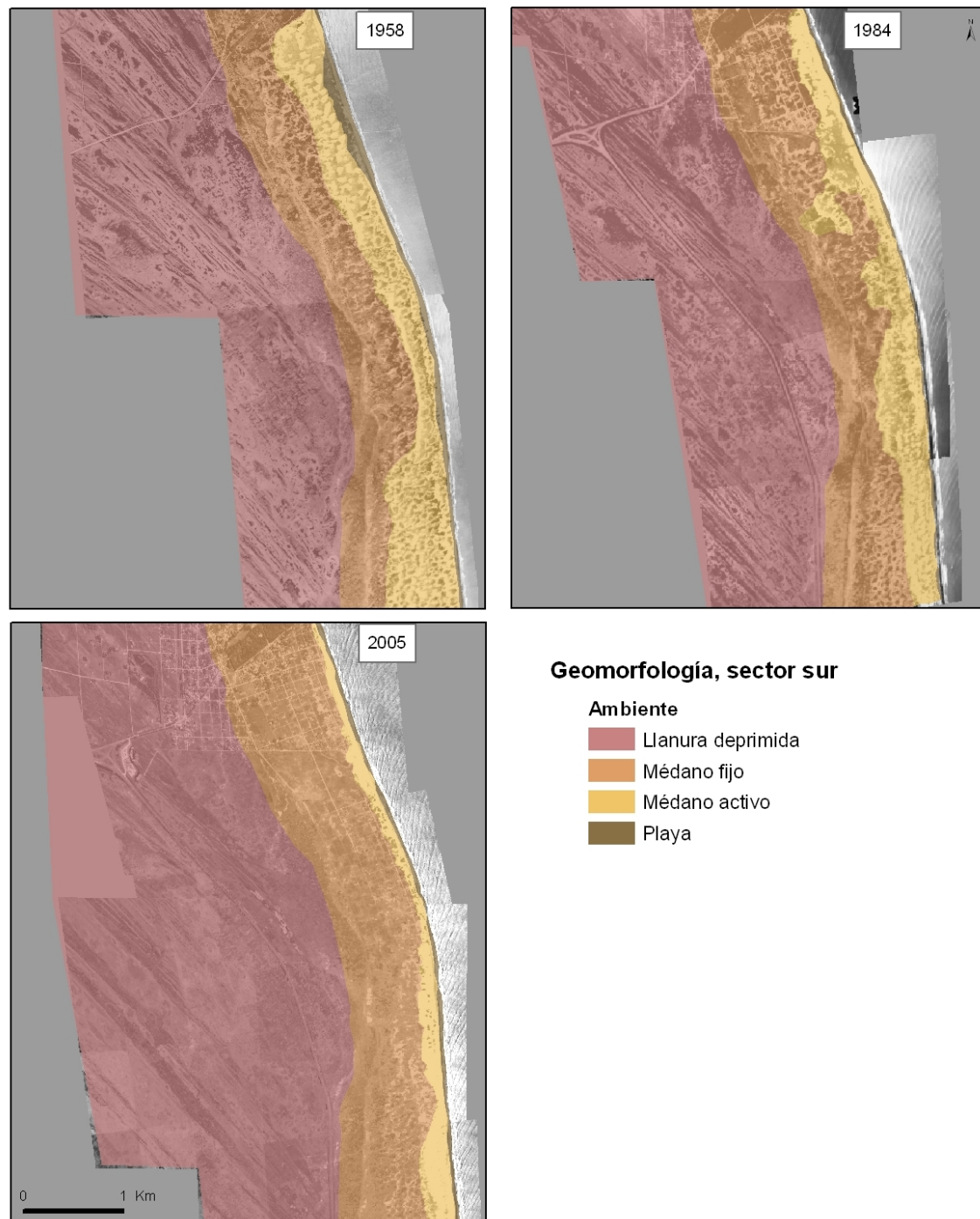


Figura 4.23. Morfología del sector sur a través del tiempo

4.3. Usos del suelo

El uso del suelo, particularmente en zonas urbanas y su relación con la cantidad y calidad de las aguas subterráneas ha sido extensamente abordado (Wang, 2001; Kim et al. 2003; Kim, 2004; Krothe et al. 2002; Zuquette et al., 2004; Houlahan y Findlay, 2004; Park et al., 2005; Schneider y Kruse, 2005; Israfilov, 2006; Dias Pons et al., 2007; Bellot et al., 2007).

En el área de estudio resulta de utilidad establecer esta relación debido a que el aumento de la población estable, y por ende de las viviendas, junto al ingreso de los turistas en los meses de verano, están íntimamente ligados con el consumo del agua y el manejo de las reservas disponibles.

4.3.1. Evolución de la población

La población permanente en el área de estudio es de 11.336 habitantes (INDEC, 2001), con una proyección para la actualidad de aproximadamente 15.000 habitantes. Esta región presenta un importante desarrollo turístico, con una alta actividad en la época estival, lo cual puede quintuplicar el número de habitantes. A su vez, la aparición de nuevas ofertas de turismo en la zona produce un aporte constante en el resto del año, pero por cortos periodos de estadía.

De acuerdo a los censos nacionales del INDEC correspondientes a 1960, 1970, 1980, 1991 y 2001, se reconoce un crecimiento marcado de la población (Figura 4.25).

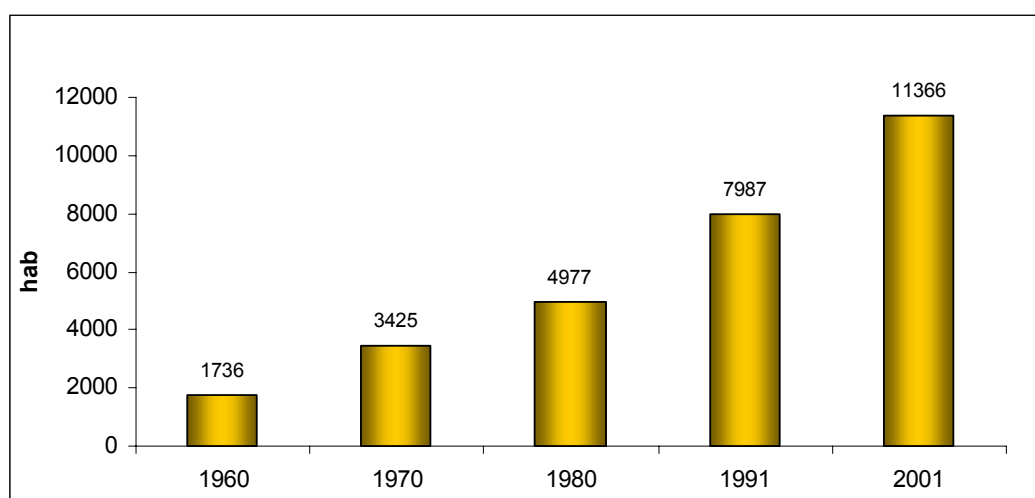


Figura 4.25. Evolución de la población en San Clemente del Tuyú según los censos del INDEC

Entre 1970 y 1960 se ha producido un aumento del 97% en la cantidad de residentes de la localidad. En la siguiente década fue del 45% mientras que entre 1991 y 1980 el valor calculado fue del 60%. El menor porcentaje se registra entre 2001 y 1991 con un 42% de incremento.

En cuanto a las viviendas se disponen datos para los años 1970, 1980 y 1991, donde puede observarse un marcado aumento especialmente entre 1970 y 1980 con un incremento del 73%. Para el periodo 1991-1980 se estimó en un 56%. (Tabla 4.4).

AÑO	n° viviendas	Varones	Mujeres	Pobl. total
1960		877	859	1736
1970	3857	1787	1638	3425
1980	6678	2554	2423	4977
1991	10426	3999	3988	7987
2001				11366

Tabla 4.4. Datos censales del INDEC

El constante aumento de la población estable asociado a la afluencia turística del verano, supone un incremento del consumo de agua, lo cual tiene una significativa influencia en el comportamiento del agua subterránea, afectando el ciclo hidrológico natural.

4.3.2. Evolución territorial

De acuerdo a los relevamientos de campo efectuados y del análisis visual de las fotografías aéreas e imagen satelital (1958, 1984, 2005), se plantean tres casos de distribución de uso del suelo, que se denominaron Zona 1, Zona 2 y Zona 3.

En primera instancia se establecieron las zonas en función de dos tipos de observaciones: los recorridos efectuados por el campo y su correlación con la imagen satelital actual. Como segunda instancia se intentó transpolar las características descriptas a continuación a las fotografías aéreas de los años anteriores. Dicha tarea no resultó fácil ya que, sobretudo en la más antigua, los rasgos de la urbanización no estaban definidos.

La Zona 1 está caracterizada por un suelo arenoso, con escasa urbanización y presencia de espacios verdes, ya sean áreas de camping o recreación, como jardines y espacios públicos, con calles que no se encuentran pavimentadas. En general es un ámbito favorable para la recarga, aunque limitada localmente en algunos sitios que presentan edificación o impermeabilización del terreno. Constituye un medio vulnerable y con riesgo de contaminación derivada de las actividades que en ella se desarrollan (Figura 4.26).

La Zona 2 se corresponde con el ambiente natural de médanos, que presenta un suelo arenoso con escasa vegetación, siendo insignificante la densidad de población. En este caso, los excesos de agua alimentan directamente al sistema hídrico subterráneo. El escurrimiento superficial tiende a cero, como consecuencia de las características morfológicas, de la inexistencia de una red de drenaje y de la alta permeabilidad de los sedimentos. En esta zona la baja actividad antrópica minimiza el riesgo de afectación de la calidad química del agua (Figura 4.27).

En la Zona 3 se han incluido los sectores densamente urbanizados, situados en el casco céntrico, donde se ubica el sector comercial, hotelero, gastronómico y las calles están pavimentadas. En estos sitios, como consecuencia de la impermeabilización prevalece el escurrimiento superficial de los volúmenes precipitados. En esta zona, que se encuentra aladaña a la costa, los desagües pluviales que colectan el escurrimiento superficial terminan en la zona de playa. La descarga se produce hacia el mar y se pierde parte de lo aportado por las precipitaciones, dando lugar a una situación desfavorable para la recarga, la cual se lleva a cabo sólo en pequeñas superficies libres como unas pocas plazas y jardines de reducido tamaño. Esta zona es la única abastecida por agua corriente. Se considera que no existen pérdidas significativas de la red de distribución de agua que aporten a la recarga debido a que se trata de una red en buen estado que cuenta con menos de 20 años de funcionamiento. Lo mismo ocurre con el servicio cloacal, que tiene menos de 10 años de instalación. Los bajos contenidos de nitratos en el agua freática son indicadores de tal situación (Figura 4.28).



Figura 4.26. Imagen satelital Google Earth 2005 y fotografía de campo representativa de la Zona 1.



Figura 4.27. Imagen satelital Google Earth 2005 y fotografía de campo representativa de la Zona 2.



Figura 4.28. Imagen satelital Google Earth 2005 y fotografía de campo representativa de la Zona 3.

Se ha efectuado un análisis comparativo de las fotografías aéreas y la imagen satelital reconociéndose la evolución que han manifestado a través del tiempo las tres zonas descriptas.

En la Figura 4.29 se puede observar que para 1958 solo se reconocen la Zona 1 y Zona 2, es decir que no existía una urbanización significativa ni calles asfaltadas en ese momento.

En este análisis se consideró también 1976. La información sobre la distribución del uso del suelo se obtuvo de un mapa elaborado en el trabajo de Sala et al. (1976) en donde los autores dividen a la ciudad en sector urbano, semi-urbano y rural, considerándose una correlación entre las zonas definidas para este trabajo. De esa manera se manifiesta a partir de esta fecha la aparición de la Zona 3 con un crecimiento marcado de la Zona 1 (Figura 4.29).

Para 1984, la Zona 2 se ve considerablemente reducida a favor de la Zona 1, permaneciendo casi invariable hacia el 2005. En este año, se destaca la aparición de un nuevo sector perteneciente a la Zona 3, especialmente debido a la presencia de calles asfaltadas. (Figura 4.29)

Para 1947 se consideró una situación en donde la zona se conservaba en su estado natural ya que para esa fecha no existían más que algunos asentamientos dispersos en el área rural. Esta distribución areal ha evolucionado desde los primeros asentamientos en la localidad hasta la actualidad, acompañados del crecimiento poblacional y del consumo del recurso agua subterránea.

En 1976 la Zona 1 mostraba una superficie de $2,1 \text{ km}^2$; la Zona 2 de $7,2 \text{ km}^2$ y la Zona 3 de $0,7 \text{ km}^2$. En 2005, treinta años después, los valores se han transformado en $4,8 \text{ km}^2$; $3,6 \text{ km}^2$ y $1,5 \text{ km}^2$, respectivamente. Ello indica que se han duplicado los sectores urbanizados y las zonas de médano con escasa vegetación han disminuido la superficie en un 50%. (Figura 4.30)

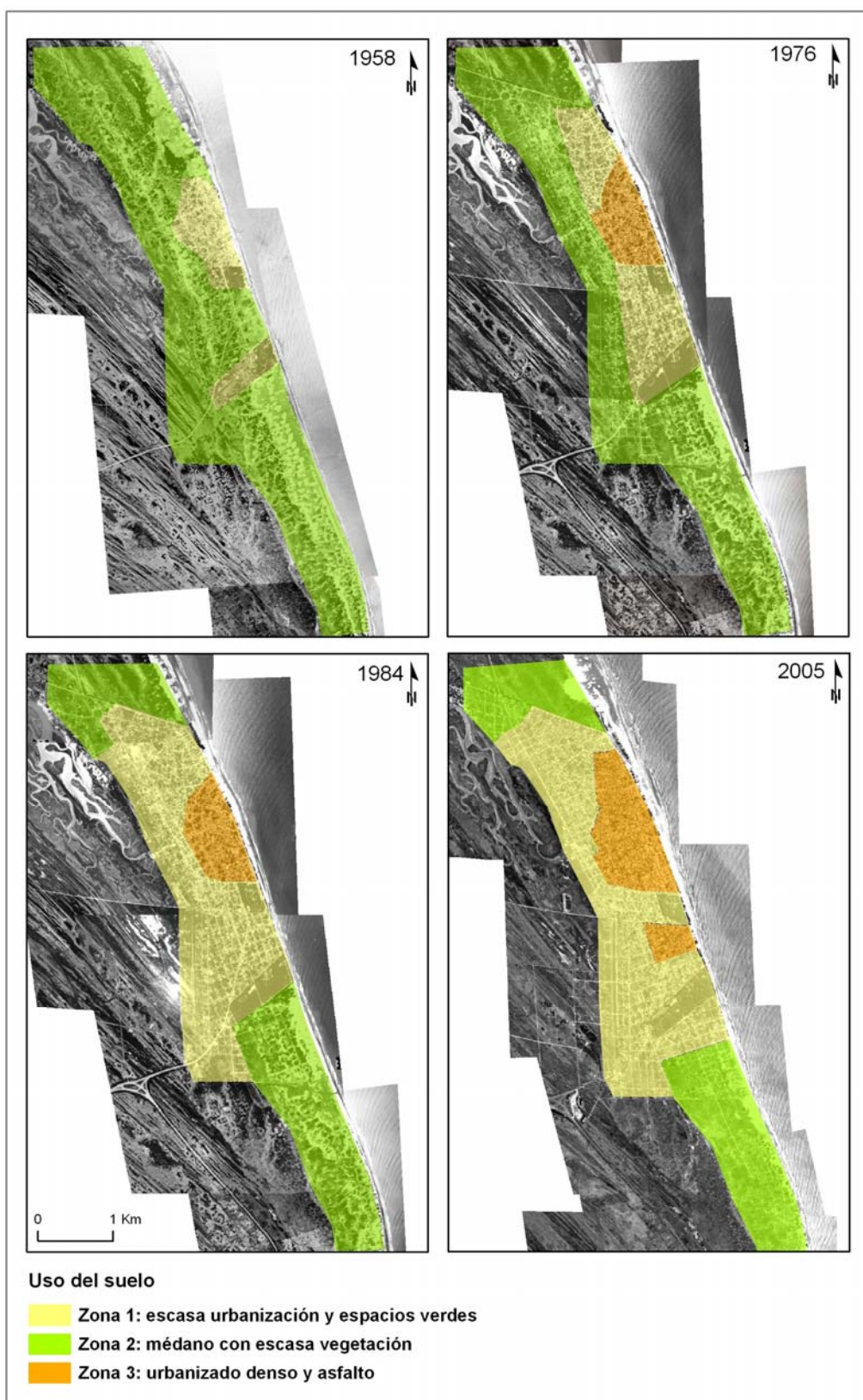


Figura 4.29. Cambios en el uso del suelo a lo largo del tiempo

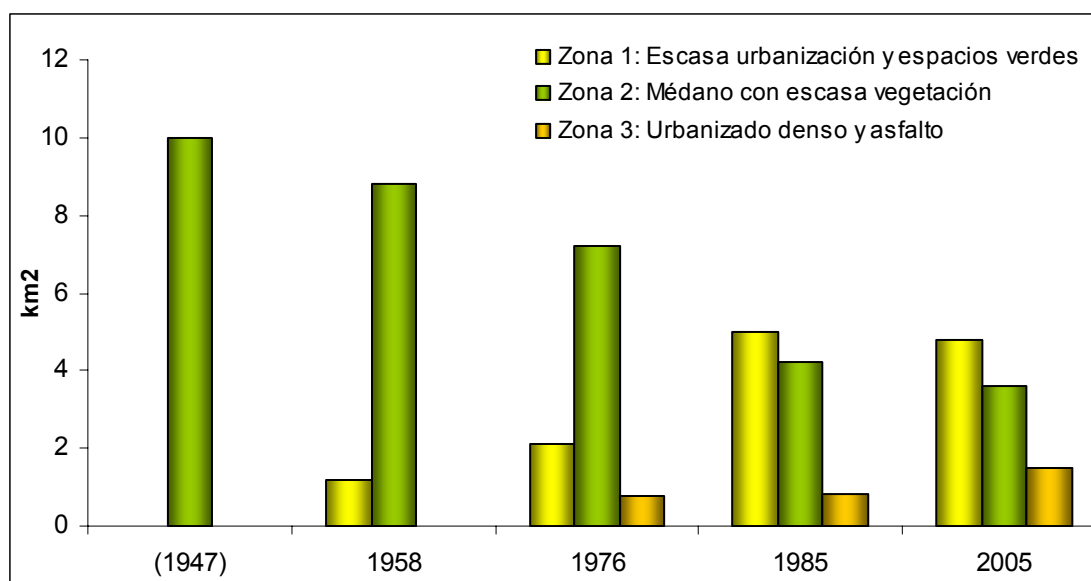


Figura 4.30. Evolución areal del territorio.

Estas observaciones se correlacionan con lo concluido en el apartado donde se trató la evolución del paisaje. El crecimiento poblacional observado mediante los censos del INDEC, los cambios en el uso del suelo en las zonas definidas y el comportamiento de los médanos están estrechamente relacionados entre sí. La aparición de los asentamientos humanos en esta región costera ha modificado el paisaje de manera continua y significativa a lo largo del tiempo. Esto no solo afecta de un modo paisajístico, sino que actúa sobre la dinámica del acuífero alojado en el médano.

4.4. Hidrometeorología

Si bien San Clemente del Tuyú se encuentra dentro del marco hidrometeorológico regional descrito, se dispone de información para lograr una caracterización más detallada de algunas variables meteorológicas.

4.4.1. Precipitaciones

Para verificar la consistencia de los datos del pluviómetro de la Cooperativa de Obras Sanitaria (COS) se realizó un análisis de doble masa con los datos del SMN Sta. Teresita, por presentar esta última estación una mayor confiabilidad. En la Figura

4.31 se puede observar la curva correspondiente, cuyo coeficiente de correlación es próximo a 1. Dado este resultado, se ha considerado a los datos del pluviómetro COS como información que puede ser utilizada en posteriores análisis.

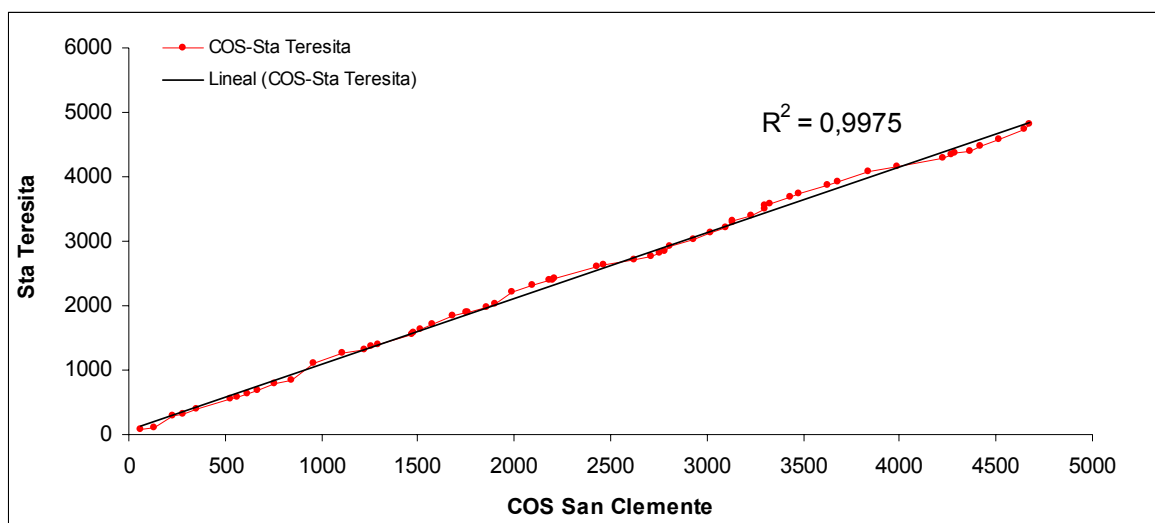


Figura 4.31. Gráfico que representa los resultados del análisis de doble masa entre la estación Sta. Teresita y COS para el periodo diciembre 2002 - noviembre 2007.

Este mismo tipo análisis con las otras estaciones instaladas en la localidad, no dieron resultados satisfactorios (Anexo 5) y por lo tanto no serán utilizadas en la evaluación hidrológica.

En la Tabla 4.5 se indican las precipitaciones mensuales, medias mensuales y anuales del pluviómetro de la COS entre enero de 2003 y diciembre de 2010.

En cuanto a la media mensual, febrero presenta el mayor valor (130 mm), mientras que mayo es el menor (52 mm). En el verano se presentan el 33,1% de las lluvias, el 22,3 % en otoño, el 22,7% en invierno y 21,9% en primavera, resultando una distribución homogénea con una leve tendencia a las mayores precipitaciones en la época estival. El semestre húmedo (octubre – marzo) cuenta con el 55% de las precipitaciones y el seco (abril – septiembre) con el 45%.

La máxima precipitación mensual se registró en febrero de 2008 con 244 mm considerándose un evento de precipitaciones extremas y será analizado posteriormente. Le sigue abril de 2007 (236 mm), junio de 2005 (221 mm) y febrero de 2010 (208 mm). En la serie existen meses en donde la precipitación medida fue de 0 mm, lo cual sucedió en tres oportunidades, mayo y agosto de 2006 y abril de 2008.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Media
Ene	71	111	95	124	49	165	8	84
Feb	97	39	105	87	155	244	103	130
Mar	48	34	82	74	157	135	145	93
Abr	72	175	21	41	236	0	52	85
May	175	11	7	0	41	93	38	52
Jun	34	30	221	96	18	32	38	67
Jul	51	62	35	71	75	30	150	68
Ago	58	105	161	0	54	112	48	77
Sep	83	72	86	25	98	21	61	64
Oct	91	6	45	106	130	51	50	68
Nov	112	99	23	40	30	37	105	64
Dic	156	41	31	157	40	43	13	69
Anual	1048	785	912	821	1083	963	811	918

Tabla 4.5. Datos de precipitaciones para el pluviómetro COS (2003-2010)

Los años más lluviosos fueron 2003 y 2007 con 1048 y 1083 mm respectivamente, mientras que el 2004 resultó ser el más seco con tan solo 785 mm. La precipitación media anual (2003-2009) es de 918 mm, un tanto menor que la calculada a nivel regional donde se estimaron 1000 mm. Así mismo si se compara la media anual entre COS y la estación Sta. Teresita para 2003-2007, los valores resultan 930 y 963 mm respectivamente lo que estaría representando una diferencia del 3%, que se encuentra dentro del margen de error de las mediciones de precipitación.

Los eventos de altas precipitaciones generalmente se estudian en los procesos referidos a las aguas superficiales, que presentan una respuesta hidrológica rápida. En el ambiente natural de médanos, los excesos de agua de un evento de altas precipitaciones se manifiestan en el aumento de la alimentación del sistema hídrico subterráneo.

Se evaluaron las altas precipitaciones ocurridas en febrero de 2008, en base a los datos diarios de la serie 1990-2008 de la estación del SMN Santa Teresita y otros del pluviómetro perteneciente a la COS. El valor medio para enero y febrero (meses

previos a las mediciones realizadas) en la serie 1990-2007 en Santa Teresita es de 106 y 100 mm respectivamente, con una tendencia al aumento en las precipitaciones en febrero y una disminución en enero (Figura 4.32).

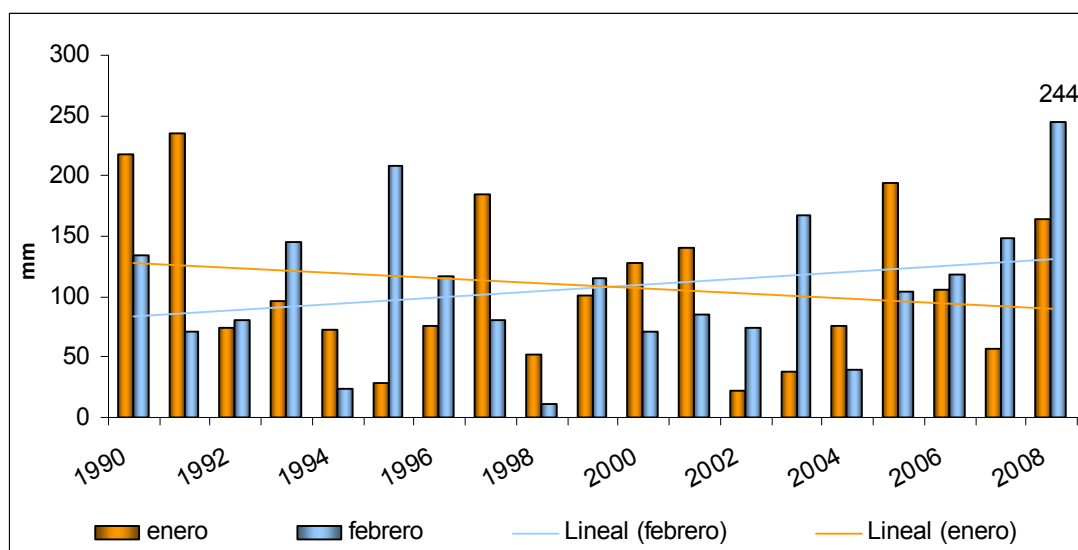


Figura 4.32. Precipitaciones mensuales en enero y febrero (1990-2008)

El valor de 244 mm registrado en febrero de 2008 se encuentra por encima de la media y es el extremo en el periodo 1990-2008. A partir del ordenamiento de la serie de los dos meses citados, se reconoce que es el máximo mensual en los datos de casi 20 años. Solo el 26% de los meses de enero muestran precipitaciones mayores a 150 mm. Para febrero este valor es del 16%, por lo cual los 244 mm de lluvia acumulados en el mes se consideraron un evento extremo (Figura 4.33).

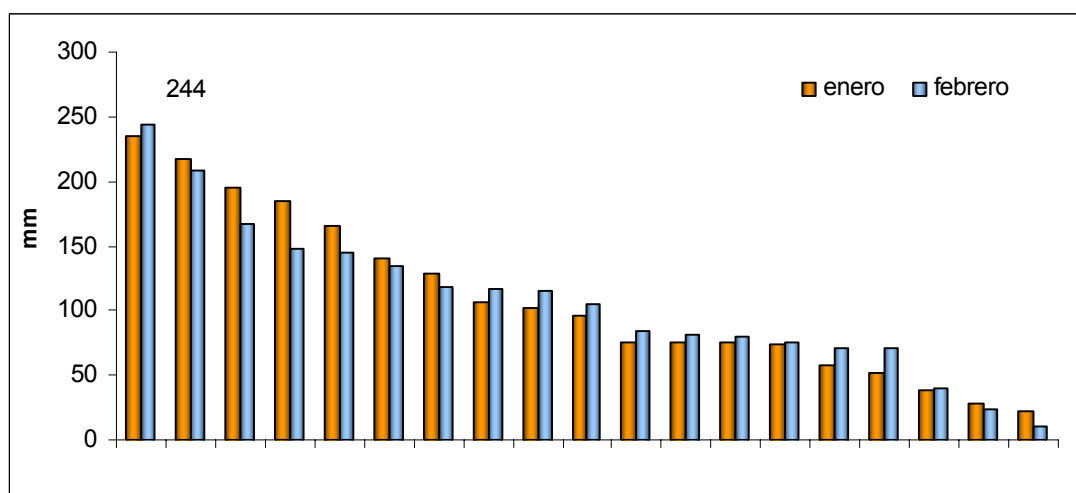


Figura 4.33. Precipitaciones mensuales en enero y febrero (1990-2008) ordenadas de mayor a menor

De los 244 mm registrados en febrero, 180 mm lo hicieron en un solo día (26 de febrero). El máximo en un solo día (1990-2007) era 120,8 mm, siendo superado por los 180 mm del 26 de febrero de 2008 (Figura 4.34).

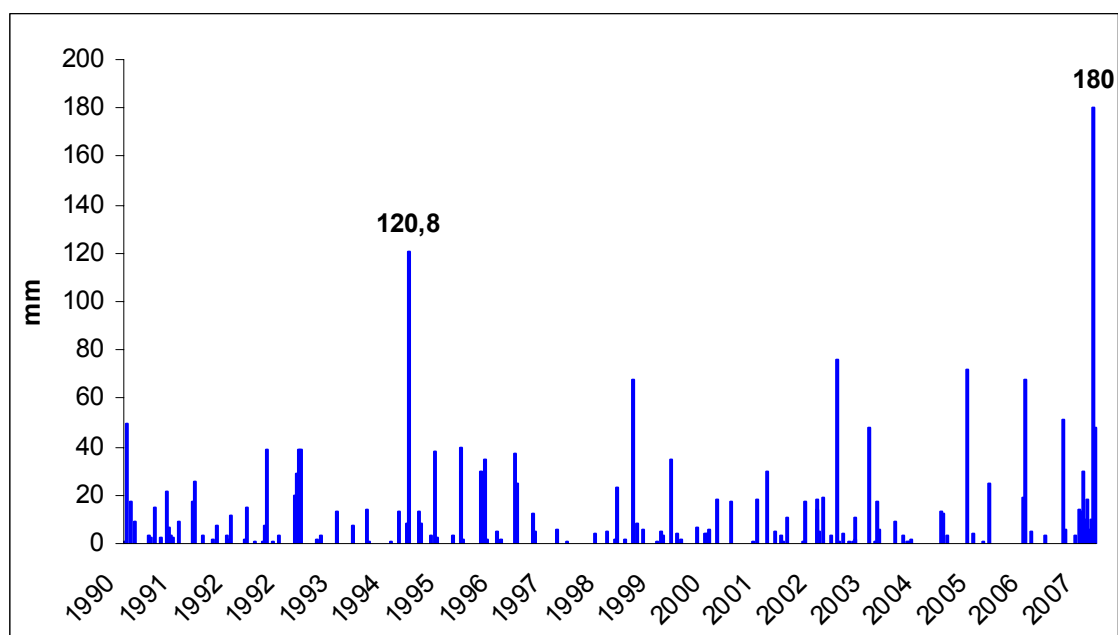


Figura 4.34. Días con precipitaciones en febrero (1990-2008)

Si se ordenan las precipitaciones de febrero, se observa que solo el 17% de los días presentan valores por encima de 20 mm, siendo la mayoría (83%) menores a este valor. Precipitaciones mayores a 100 mm diarios se registraron 2 veces, el 10 de febrero de 1995 y el caso analizado, lo cual representa tan solo el 1,3 % de los acontecimientos (Figura 4.35).

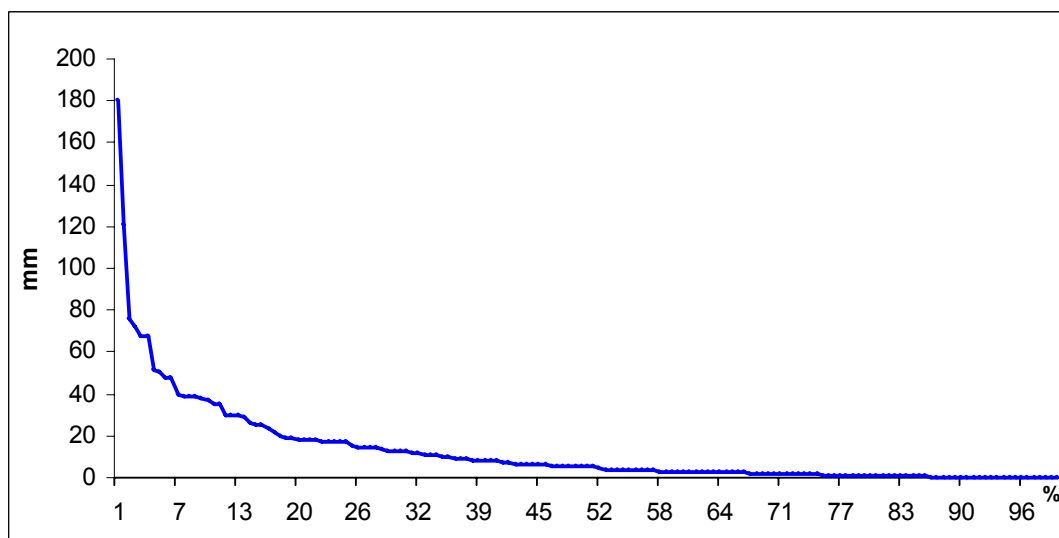


Figura 4.35. Días con precipitaciones en febrero (1990-2008) ordenados de mayor a menor.

En la región costera, los eventos de altas precipitaciones, si bien son excepcionales, pueden significar un aporte significativo a las reservas de agua dulce, por lo que deben ser aprovechados de manera eficiente.

4.4.2. Temperatura

Se ha analizado la temperatura de las dos estaciones de San Clemente. A partir de datos horarios, se han calculado las medias diarias, así como las mensuales. La temperatura máxima fue 34,2° C el 08/01/2008 a las 14 hs en la Planta 2, mientras la mínima fue -2,7° C el 03/08/2008 a las 8 hs en la Sede.

En la Figura 4.36 se observa que las medias mensuales presentan comportamiento similar a lo largo del año, con el mínimo en junio de 2008 (7,9 ° C) y el máximo en enero de 2009 (22,6 ° C).



Figura 4.36. Temperatura media mensual para las dos estaciones en el periodo 14/11/2007-23/03/2009

4.4.3 Humedad relativa

En la estación Sede el valor medio mensual fue 70%, el máximo del 83% (julio 2008) y el mínimo del 58% (enero 2009), mientras que para Planta 2 fueron de 73%, 60% y 44% respectivamente.

En la Figura 4.37 puede observarse que los valores de la Sede son levemente mayores. El mayor porcentaje de humedad relativa se manifiesta durante el invierno.

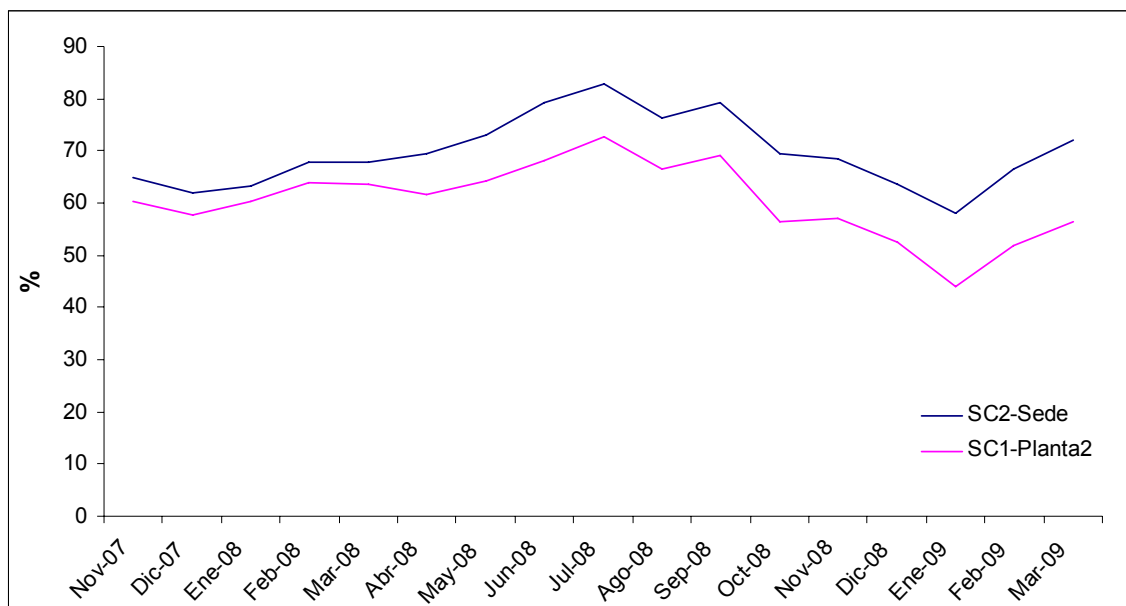


Figura 4.37. Media mensual de la humedad relativa para las dos estaciones en el periodo 14/11/2007-23/03/2009

En análisis del comportamiento de la humedad relativa en relación con la temperatura se visualiza en la Figura 4.38. Se observa que en los meses de invierno, cuando la temperatura baja, la humedad tiende a ser mayor.

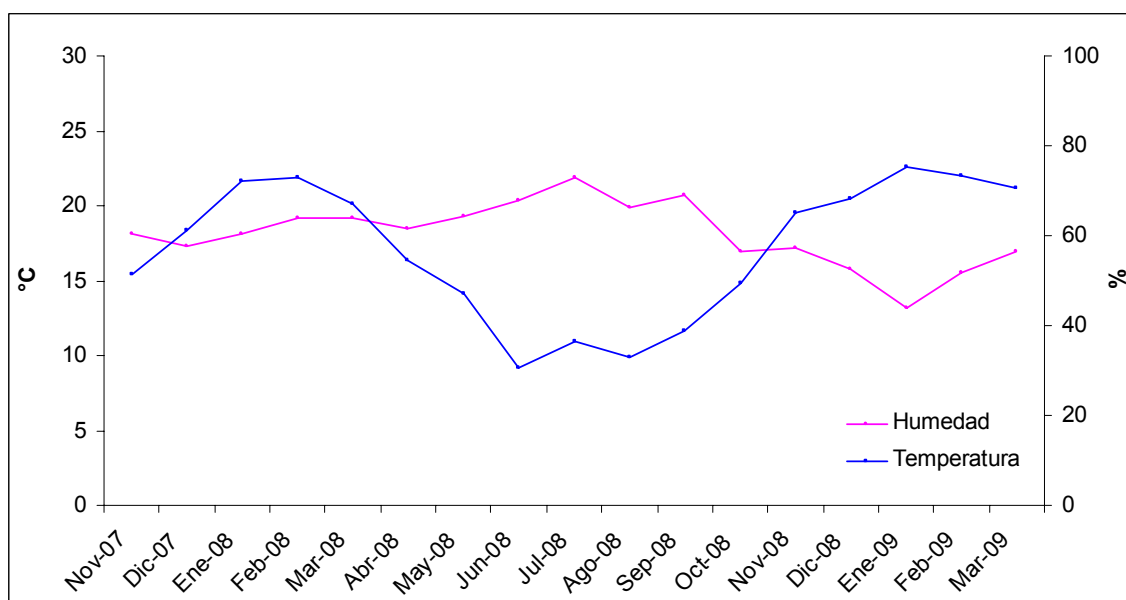


Figura 4.38. Humedad y temperatura para el periodo noviembre-2007 a marzo-2009

Lo mismo se manifiesta con la evolución diaria. (Figura 4.39). Se ha elegido el 15 de marzo 2008 como ejemplo, donde a partir de las 10 y 19 hs las temperaturas son más elevadas, resultando en ese mismo lapso los menores porcentajes de humedad.

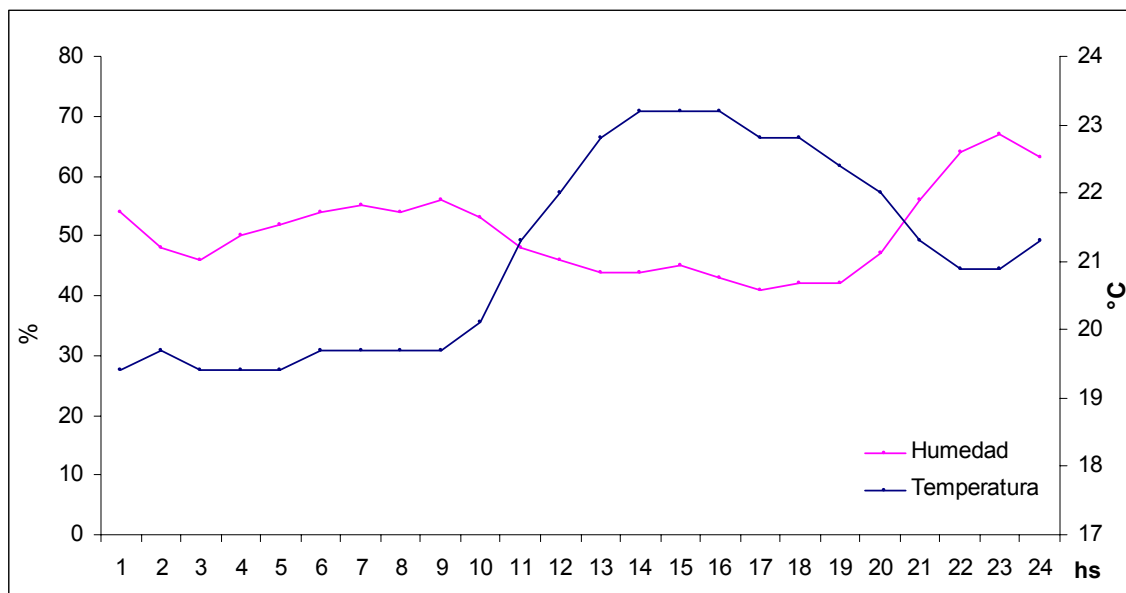


Figura 4.39. Humedad y temperatura para el día 15 de marzo de 2008

4.4.4. Presión atmosférica

El máximo registrado fue de 1020 hPa (mayo 2008), el mínimo de 995 hPa (diciembre 2007) y la media de 1013 hPa. En la Figura 4.40 se observa que los mayores valores de presión, por encima de los 1013 hPa, se presentan en otoño e invierno, con que es la estación seca en el área de estudio, mientras que los valores son inferiores entre octubre y marzo, que es el semestre húmedo.

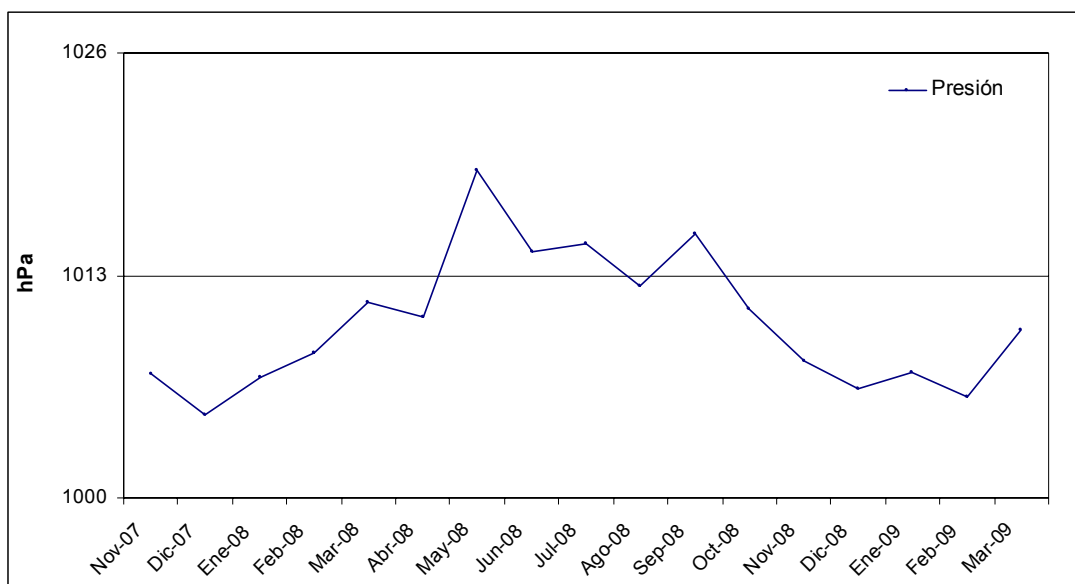


Figura 4.40. Presión atmosférica en hPa desde noviembre-2007 a marzo-2009

Existe una relación directa entre los valores por debajo de 1013 hPa y las precipitaciones. La Figura 4.41 muestra que entre abril-08 y septiembre-08 (semestre seco) las presiones se mantienen en general con valores altos (entre 1015 y 1019 hPa), resultando la suma de las precipitaciones en 279 mm. En cambio, desde noviembre-07 hasta marzo-08 (semestre húmedo) las lluvias fueron 614 mm con valores de presión generalmente más bajos (entre 1005 y 1012 hPa). Para el otro semestre húmedo, octubre-08 a marzo-09, las precipitaciones sumaron 353 mm, pero cabe aclarar que 2008 fue un año seco.

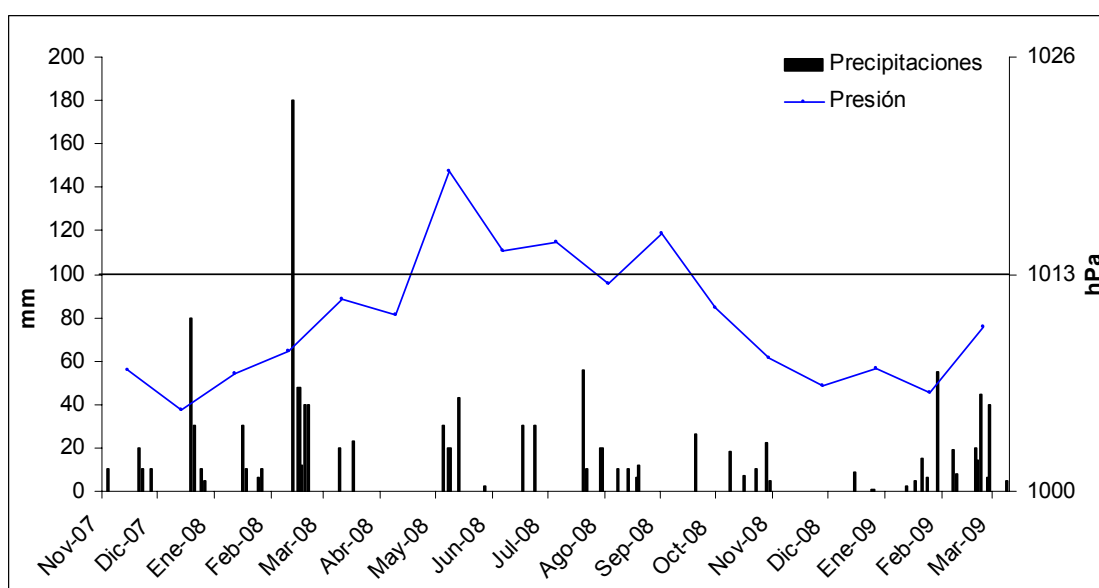


Figura 4.41. Precipitaciones y presión atmosférica (noviembre 2007-marzo 2009)

Se han elegido los días 10 y 11 de febrero 2009 como ejemplo para visualizar el comportamiento entre estas dos variables (Figura 4.42). El sensor ha registrado un valor por debajo de los 1013 hPa a partir de las 2 hs del día 10. En el transcurso de las horas siguientes los valores descienden aún más, llegando a un mínimo de 987 hPa a las 14 hs. Las precipitaciones comienzan a las 20 hs y tienen su pico a las 2 hs del día siguiente con 30 mm. La presión vuelve a elevarse hacia finales del día 11.

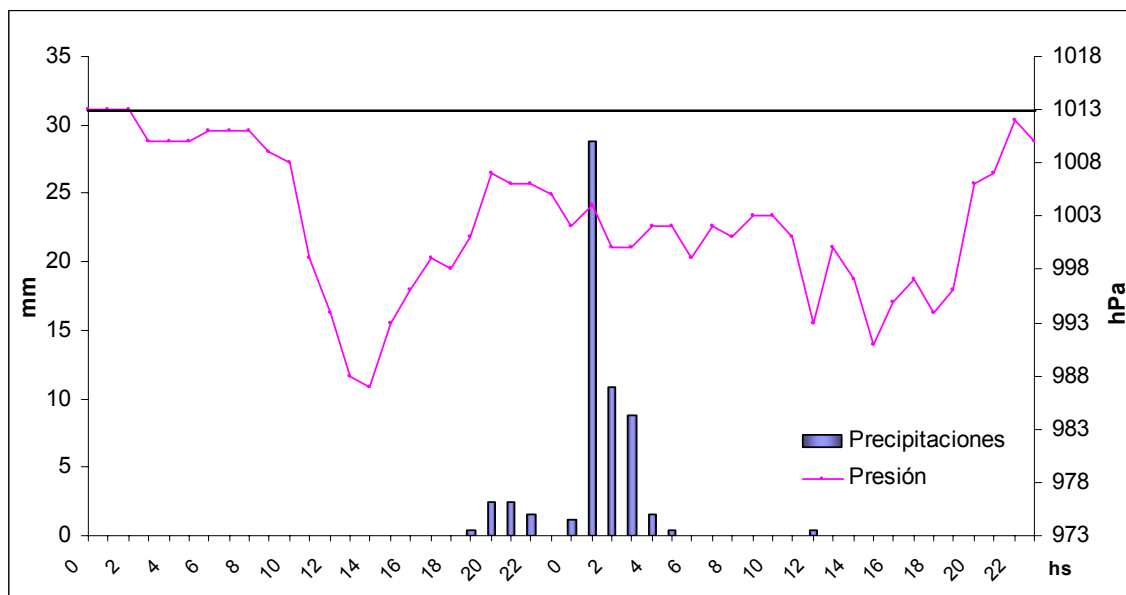


Figura 4.42. Comportamiento de la presión atmosférica y precipitaciones para los días 10 y 11 de febrero de 2009

En la Figura 4.43 se muestra la relación entre precipitación, temperatura, humedad relativa y presión atmosférica para el 10 y 11 de febrero de 2009. A la relación presión-precipitaciones descrita, se suma a esta observación el hecho que durante el periodo de lluvias la humedad relativa alcanza su máximo. Las temperaturas disminuyen durante las horas de la noche que es además, el periodo en donde se produjeron las precipitaciones.

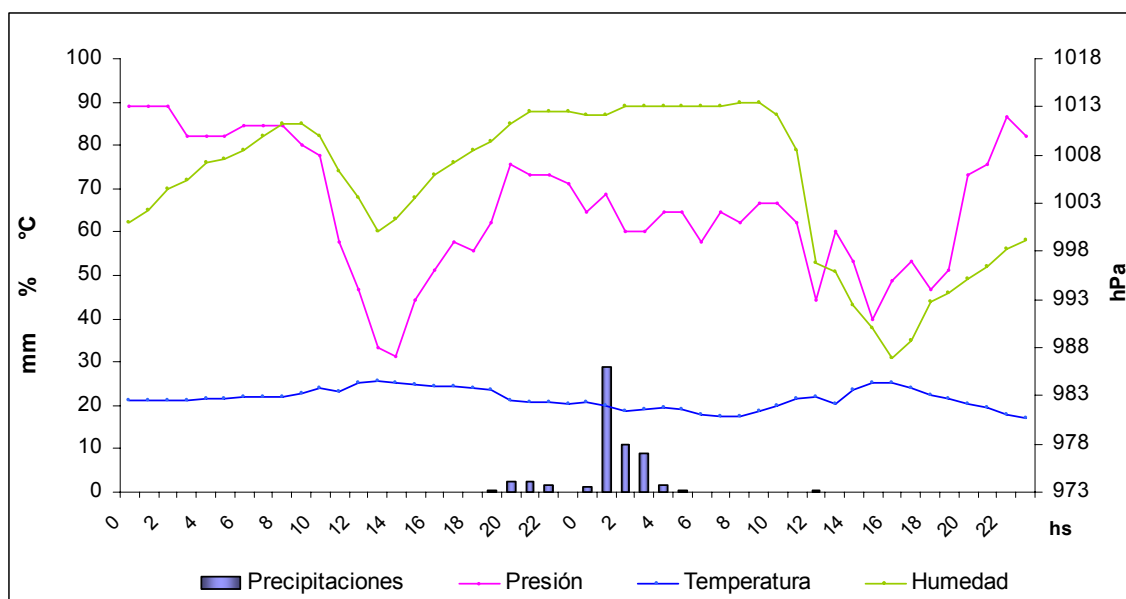


Figura 4.43. Comportamiento de las variables meteorológicas para los días 10 y 11 de febrero de 2009

El estudio de los fenómenos meteorológicos en relación con la hidrogeología es una cuestión compleja de abordar. El análisis de las precipitaciones reviste una mayor importancia por tratarse de la entrada al sistema acuífero, pero a su vez la temperatura es un factor que influye significativamente en la evapotranspiración, estrechamente ligada con la recarga. La humedad relativa y la presión atmosférica se relacionan también con las precipitaciones y la evapotranspiración.

4.4.5. Balance hídrico

Se han efectuado balances hídricos de paso diario para la serie 2008-2010 que luego se han sido adaptados al intervalo de tiempo entre los relevamientos de los niveles freáticos.

En la Tabla 4.6 se exponen los resultados de los mismos. El mayor exceso de agua mensual (275 mm) corresponde a marzo de 2008. En marzo, 2010 se registra un valor importante de lluvias que genera 154 mm de excesos.

De los 26 meses con balances hídricos, en 10 oportunidades los excesos de agua fueron entre 0 y 1 mm, mientras que solo en 5 ocasiones este valor superó los 80 mm. La suma anual de los excesos para 2008 indica 494 mm mientras que para 2009 es de 363 mm.

	Precipitaciones	ETR	Excesos
Feb-08	165	63	86
Mar-08	336	65	275
Abr-08	63	58	7
May-08	30	22	0
Jun-08	65	31	45
Jul-08	60	22	25
Ago-08	86	41	48
Sep-08	38	42	7
Oct-08	35	41	0
Nov-08	62	57	1
Dic-08	29	30	1
Ene-09	17	28	0
Feb-09	108	40	34
Mar-09	125	49	88
Abr-09	72	56	32
May-09	38	22	0
Jun-09	38	19	6
Jul-09	150	32	126
Ago-09	20	28	0
Sep-09	89	56	28
Oct-09	50	39	0
Nov-09	105	58	49
Dic-09	13	30	0
Feb-10	46	49	0
Mar-10	208	51	154
Abr-10	66	41	24

Tabla 4.6. Balances hídricos (febrero 2008-abril 2010)

5. HIDRODINAMICA SUBTERRANEA

5.1. Flujo subterráneo

Los mapas de flujo subterráneo elaborados para cada medición mensual del período noviembre 2007 – julio 2010 (Anexo 6) indican, como generalidad, un área elevada en la morfología freática en coincidencia con la parte central y de mayor altura del cordón costero, constituyendo la zona de recarga principal de las aguas subterráneas. La conducción se produce por una corta distancia, dando lugar a la descarga que se manifiesta en dos direcciones opuestas, una hacia el mar al este y la otra hacia la llanura deprimida al oeste.

Como representativos para visualizar dichas características se han seleccionado dos situaciones extremas. Una de ellas es la correspondiente a la posición de la capa freática más elevada (marzo-08) y otra la más profunda (enero-09) (Figura 5.1).



Figura 5.1 Mapas isofreáticos para marzo-08 y enero-09

Para la situación en donde los niveles están más elevados, en el sector sur se reconoce un domo en la morfología freática, con curvas isofreáticas que oscilan entre 2 y 3 m s.n.m. Para la situación de mayor profundización en el mismo sector se reducen a 1 y 1,5 m s.n.m. También se manifiesta un área elevada con la curva de 1.5 m s.n.m. en el sector norte para marzo-08, la cual desaparece en enero-09. Existen dos áreas donde se manifiestan pequeños conos de depresión. El del norte está relacionado a un bombeo realizado por el Municipio de la Costa, y el del sur al campo de extracción de agua para abastecimiento de la Cooperativa de Obras Sanitarias de San Clemente (COS).

En las dos situaciones se reconocen gradientes hídricos hacia el este y oeste cuyos valores medios se muestran en la Tabla 5.1

	Mar-08	Ene-09
i (oeste)	0,0034	0,0027
i (este)	0,0019	0,0016

Tabla 5.1. Valores de gradiente hídrico i (m/m)

Si se consideran todos los mapas isofreáticos mensuales construidos entre noviembre de 2007 y julio de 2010 se estima un gradiente hídrico medio de 0,0023 hacia el este y 0,0032 hacia el oeste. La velocidad efectiva media sería de 0,0003 m/d al este y 0,00046 m/d hacia el oeste.

5.2. Profundidad de niveles freáticos

En la Figura 5.2 se presentan los mapas de isoprofundidad para las dos situaciones citadas anteriormente. En marzo-08 las mayores profundidades se encuentran en el sector central del médano con valores entre 1 y 1,5 m que coinciden con el área de predominio de recarga. Las menores profundidades se observan hacia el área de descarga al este y al oeste con valores inferiores a 0,5 m. Existen tres sectores particulares, donde se reconocen curvas cerradas de valores menores a 1 m que indican una profundización puntual del nivel freático. Dos de ellos se ubican en las cercanías de los pozos de explotación del Municipio de la Costa y el tercero a la planta de extracción de la COS.

Para enero-09, se ha registra una mayor profundización. La máxima (2,5 m) se localiza en la planta de bombeo, repitiéndose el mismo fenómeno que en marzo-08 para las zonas cercanas a las perforaciones municipales. En el centro del médano las profundidades superan los 2 m, siendo menores de 1,5 m hacia el este, y de 1 m hacia el oeste.

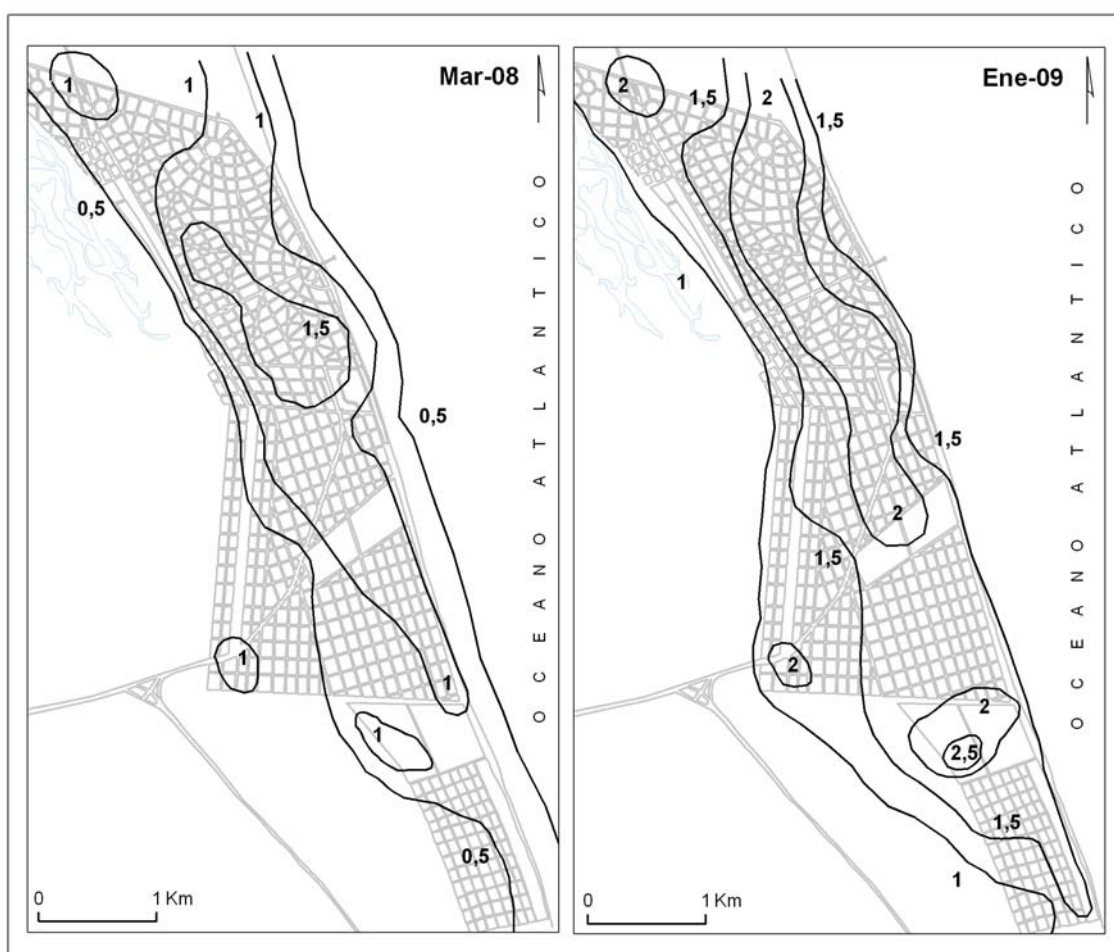


Figura 5.2. Mapa de isopropundidad (m) para marzo-08 y enero-09

5.3. Evolución temporal (1976-2006)

El análisis comparativo entre los mapas de flujo realizados con los datos de los relevamientos antecedentes (Sala et al., 1976 y CFI, 1990b), y los propios de 2006 han permitido verificar la permanencia en el tiempo de un área elevada en la morfología freática que es coincidente con las mayores alturas del médano. Tal como fuera indicado para la situación general, el escurrimiento subterráneo es en dos sentidos, hacia el este (mar), y hacia el oeste (llanura deprimida), reconociéndose particularidades del flujo subterráneo en los distintos relevamientos (Figura 5.3).

En 1976 es más notoria la elevación de la capa freática en el sector sur donde las curvas oscilan entre 1,5 y 3 m s.n.m., mientras que en el sector norte tienen una menor expresión.

A partir de 1987, se reconoce que la morfología es más suave, disminuyendo los valores de las mayores cotas de los niveles freáticos.

En 2006 la curva de 1 m s.n.m. presenta un desplazamiento hacia el interior, alejándose de la costa, y se observa una reducción areal de las curvas de 2,5 y 1,5 m s.n.m.

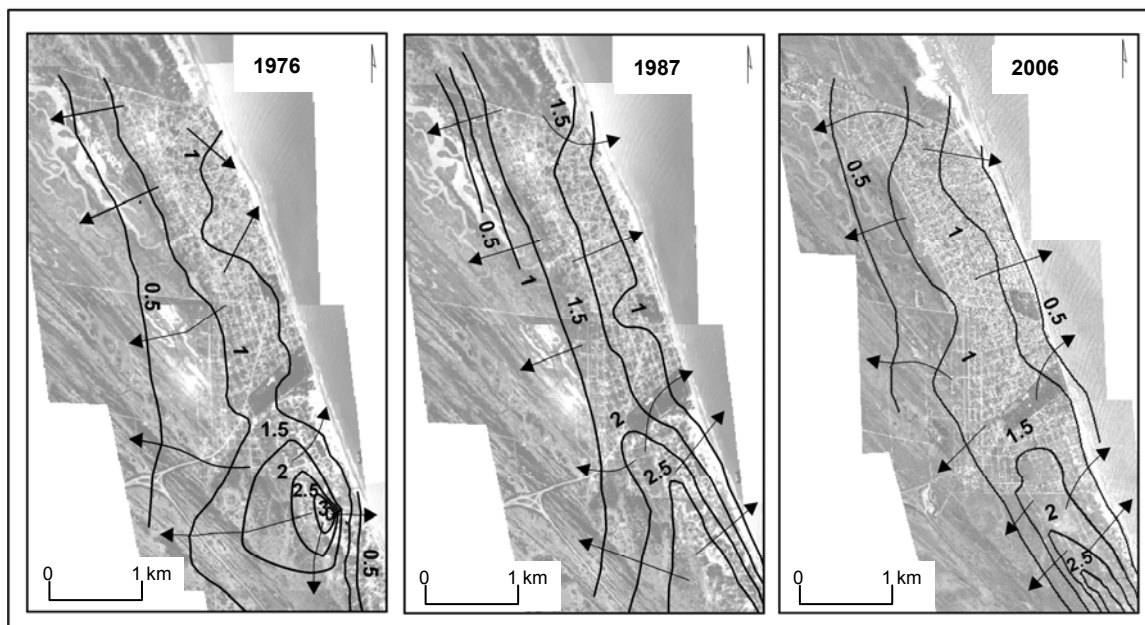


Figura 5.3. Mapa isofreático para los tres censos

Las variaciones en los gradientes hídricos asociados al coeficiente de permeabilidad de 20 m/d y de almacenamiento de 0,10 (Sala et al., 1976) han permitido reconocer valores máximos y mínimos de la velocidad efectiva del flujo subterráneo. Para 1976, en el flanco oriental del sector sur de la localidad, el gradiente hídrico máximo es 0,0062 y la velocidad efectiva 0,0009 m/d, mientras que el mínimo es 0,0012 y 0,0002 m/d respectivamente en el flanco occidental.

Para 1987 ambos gradientes fueron determinados sobre el flanco oriental del médano, donde los valores obtenidos son 0,0039 de gradiente máximo y 0,0005 de mínimo con velocidades efectivas de 0,0001 m/d y 0,0006 m/d.

En cambio, en el mapa de flujo de 2006 en el flanco occidental, los valores de gradiente hídrico es 0,0036 y velocidad efectiva 0,0005 m/d, máximos, en la zona sur. Los mínimos, en el norte de la ciudad, tienen valores de 0,0006 y 0,00001 m/d.

Del análisis de estos resultados se observa una progresiva disminución en los valores de los gradientes hídricos tanto máximos como mínimos, y por consiguiente de las velocidades efectivas, lo cual puede visualizarse en la Tabla 5.2.

	1976	1987	2006
i máx	0,0062	0,0039	0,0036
i min	0,0012	0,0009	0,0006
Ve máx (m/d)	0,0009	0,0006	0,0005
Ve min (m/d)	0,0002	0,0001	0,00001

Tabla 5.2. Gradiente hídrico y velocidad efectiva a lo largo del tiempo.

5.4. Fluctuaciones de los niveles freáticos (2007- 2010)

Las variaciones de los niveles freáticos entre noviembre de 2007 y julio de 2010, cuya graficación por pozo se observa en el Anexo 7, ha permitido diferenciar el comportamiento de acuerdo a su ubicación en la hidrodinámica del médano. De esta manera se dividen los freatómetros en 3 grupos principales: zona de recarga (sector central) y zona de descarga (sectores al este y oeste). Además algunos están dispuestos en el área de transición hacia la llanura deprimida (Figura 5.4).

Los pozos de la zona de recarga son el 3, 5, 7, 11, 15, 18, 24, 28, 30, 31, 32, 35, 36, 37, 38, 39, 41 y 43 . Los de descarga al este son el 4, 9, 10, 16, 17, 25, 42, 26, 27, 33, 34 y 39. Al oeste se encuentran el 2, 6, 7, 12, 14, 19, 23 y 29. Por último en la llanura deprimida se ubican el 1,13, 20, 21 y 22.



Figura 5.4. Distribución de los frentímetros en la red de monitoreo

Se analizó el comportamiento general de toda la serie de datos disponible seleccionándose dos pozos para cada uno de los sectores mencionados. En la zona de recarga (Figura 5.5) los niveles freáticos oscilan entre 0,60 y 3 m s.n.m. con valores más altos para los ubicados al sur y los menores en el norte. Esto se relaciona con el hecho que la capa freática sigue la morfología del terreno, la cual aumenta su expresión topográfica de norte a sur. Esto se observa en los distintos sectores del médano.

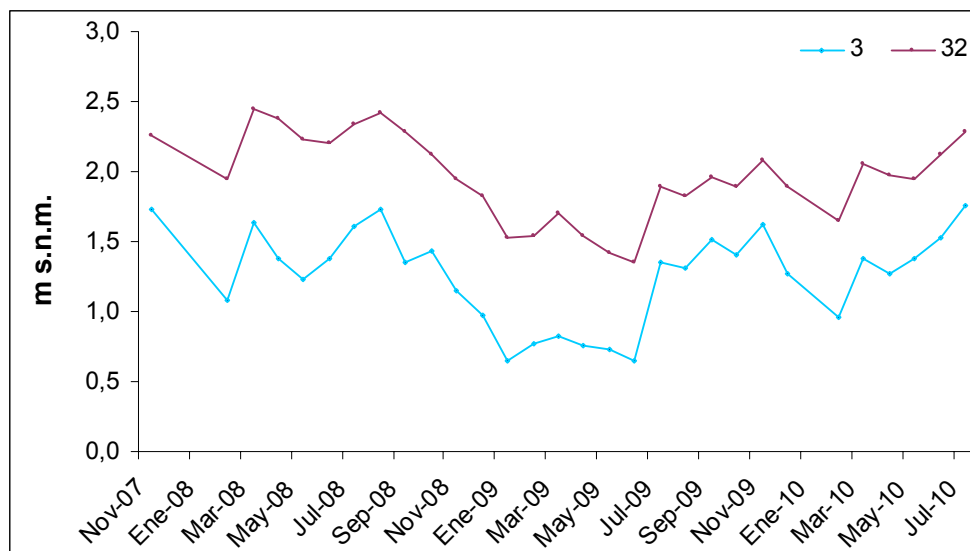


Figura 5.5. Niveles freáticos, zona de recarga principal.

Los niveles freáticos de la zona de descarga al este oscilan entre 0,5 y 2 m s.n.m. (Figura 5.6) mientras que los del oeste lo hacen entre 0,40 y 1,90 m s.n.m. (Figura 5.7)

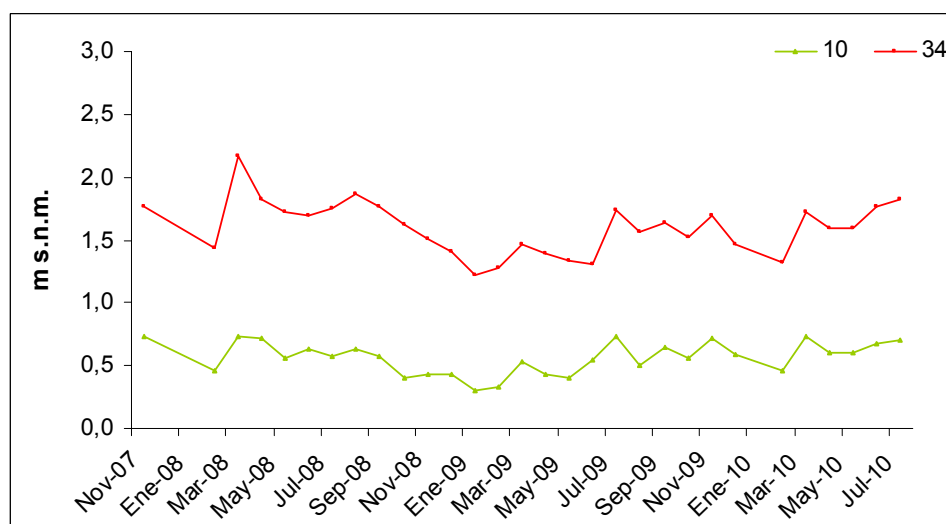


Figura 5.6. Niveles freáticos, zona de descarga al este.

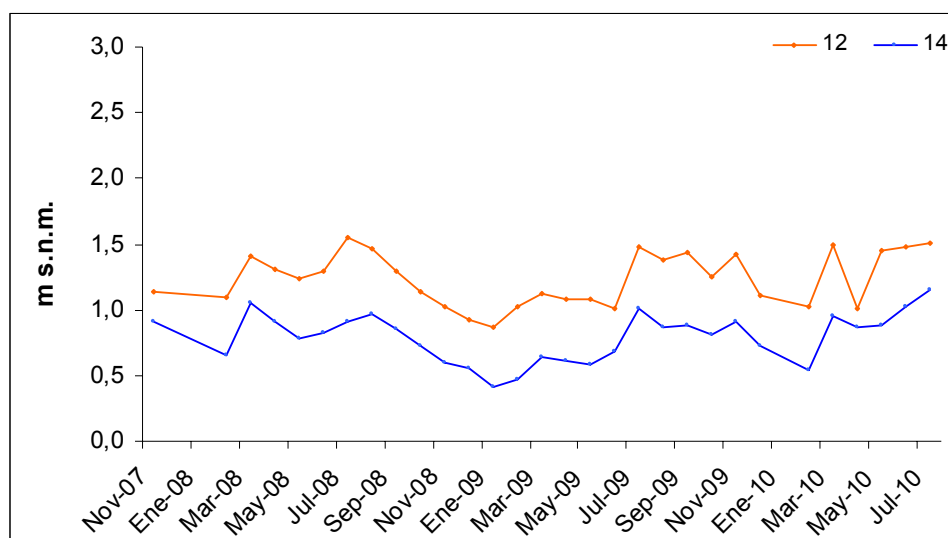


Figura 5.7. Niveles freáticos, zona de descarga al oeste.

Por último, para los freáticos de la llanura deprimida, los niveles se encuentran generalmente entre 0,25 y 1,5 m s.n.m. (Figura 5.8)

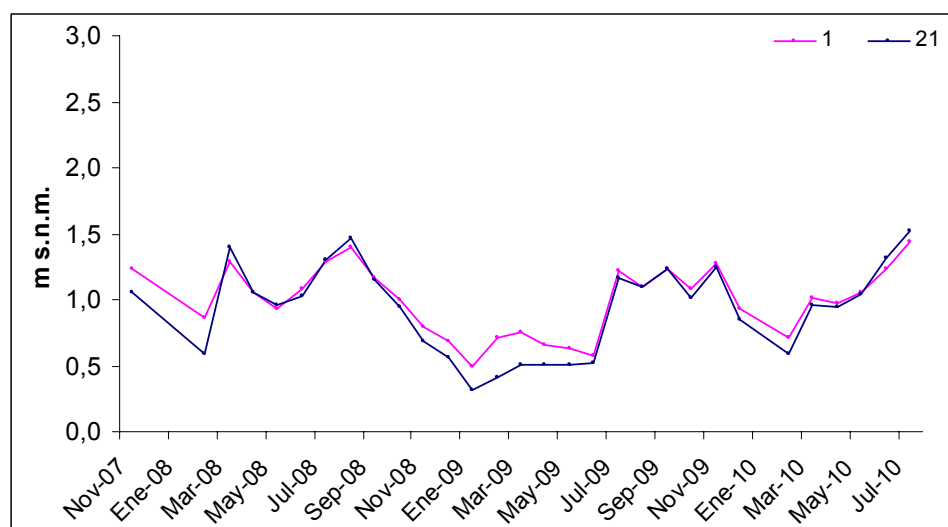


Figura 5.8. Niveles freáticos, zona de llanura deprimida

Como puede observarse en los gráficos, existe una homogeneidad en las variaciones de los niveles freáticos en cada una de las zonas representadas. Entre noviembre-07 y febrero-08 se ha producido un descenso progresivo de los niveles. Lo mismo ocurre entre noviembre-09 y febrero-2010. Los períodos de profundización mencionados son coincidentes con los menores excesos de agua que se producen en dicho período. Se suma a este efecto un mayor consumo debido a la afluencia turística estival.

Un comportamiento similar se da entre agosto-08 y enero-09, mes en el cual se alcanza la máxima profundización en la serie estudiada. Se trata de un periodo en el cual el descenso de la capa freática comenzó en el invierno y se extendió hasta pasado el verano.

En la Tabla 5.3 se exponen los valores máximos y mínimos del nivel freático en algunos pozos característicos. La máxima profundidad es coincidente en todos los pozos y se produce el 26/01/2009. Los valores mínimos se reconocen en distintas fechas: marzo de 2008, julio de 2009, noviembre de 2009 y marzo de 2010

Pozo	Ubicación en el médano	N.F. mínimo (m s.n.m.)	Fecha	N.F. máximo (m s.n.m.)	Fecha
1	llanura deprimida	0,50	26/01/09	1,40	19/08/08
12	zona de descarga (oeste)	0,87	26/01/09	1,55	14/07/08
3	zona de recarga	0,66	26/01/09 29/06/09	1,74	19/08/08
35	zona de recarga	1,86	26/01/09	3,00	13/03/08
10	zona de descarga (este)	0,30	26/01/09	0,73	13/03/08 28/07/09 02/03/10
39	zona de descarga (este)	1,28	26/01/09	2,13	13/03/08

Tabla 5.3. Niveles freáticos máximos y mínimos (nov07-jul10)

5.6. Variaciones areales

Se construyeron mapas de isovariación entre cada relevamiento mensual (que se presentan en el Anexo 8). Para su descripción general se han seleccionado las mismas fechas que los mapas de flujo subterráneo.

Las precipitaciones entre febrero y marzo de 2008 (periodo húmedo) fueron de 336 mm y generaron ascensos de los niveles freáticos entre 0,20 y 0,80 m. El rango 0,20-0,40 m se localiza, en general, en el área más urbanizada donde predominan zonas impermeabilizadas (Figura 5.9). Los mayores ascensos, con un rango entre 0,60 y 0,80 m se dan en el sector sur, en el médano natural, con la excepción de la zona que incluye el campo de extracción de agua potable.

Para el periodo seco, con tan solo 17 mm de lluvia caída entre diciembre-08 y enero-09, la profundización de los niveles freáticos varía entre -0,2 y -1 m. En este caso, además de las escasas precipitaciones se le suma un mayor consumo debido a la afluencia turística durante enero.

El sector con mayor profundización del nivel freático se localiza en el campo de bombeo, llegando a -1 m de variación. Para el resto de la localidad oscila, en términos generales, entre -0,2 y -0,4 m.

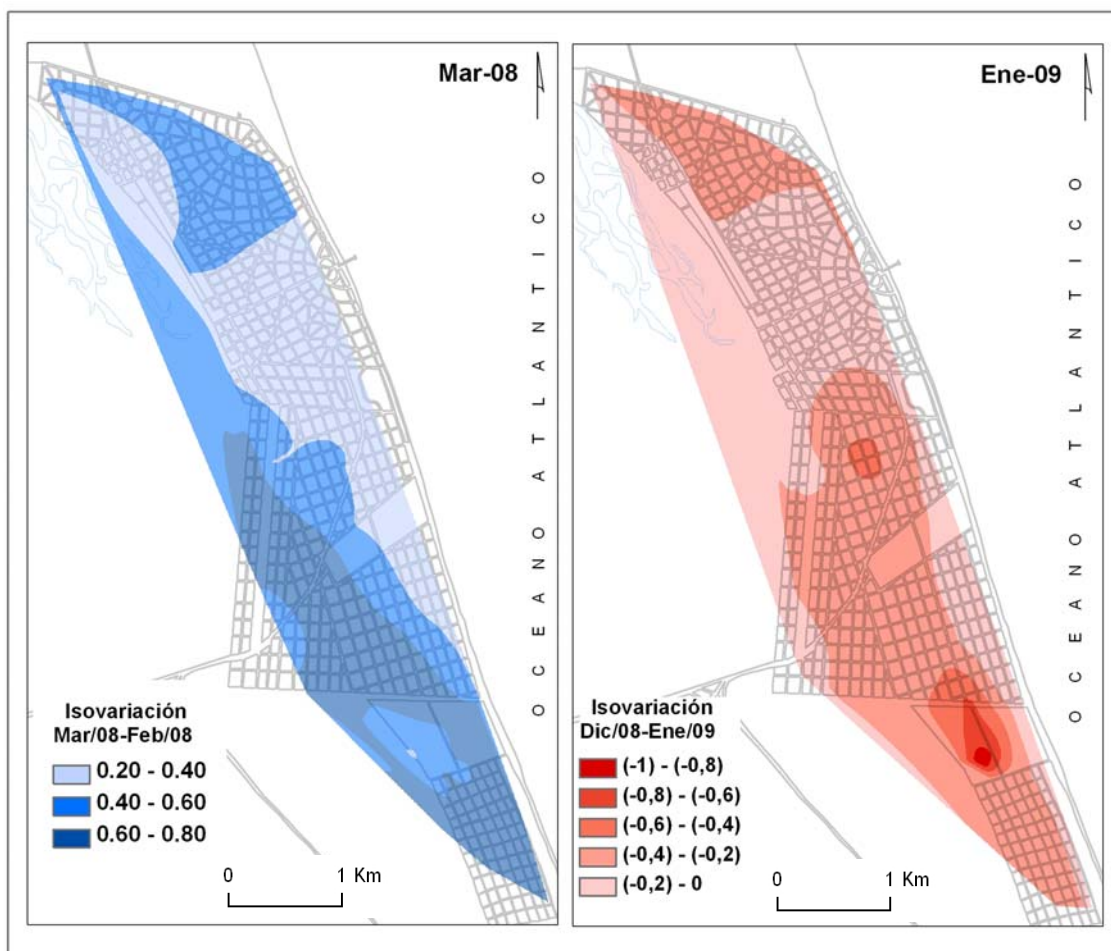


Figura 5.9. Mapas de isovariación

5.7. Relación variaciones del nivel freático - precipitaciones

Si las precipitaciones acumuladas entre las fechas de relevamientos (mensual) son inferiores a 60 mm, no se registra una elevación en los niveles freáticos. Es decir, que no se manifiestan una respuesta detectable entre un relevamiento y el siguiente si el total de las precipitaciones están por debajo de dicho valor. Por otro lado, si la suma

de las lluvias es mayor a 100 mm producen una elevación de los niveles que oscila entre 0,36 y 0,53 m.

Las variaciones de los niveles y las precipitaciones entre las mediciones pueden visualizarse en la Tabla 5.4.

Periodo	Variación del N.F. (m)	Precipitaciones (mm)	Días entre censos	Índice (precip/días)
feb08-mar08	0,53	336	36	9,3
mar08-abr08	-0,19	43	33	1,3
abr08-may08	-0,12	30	35	0,9
may08-jun08	0,06	65	29	2,2
jun08-jul08	0,12	60	26	2,3
jul08-ago08	0,09	86	36	2,4
ago08-sep08	-0,15	38	28	1,4
sep08-oct08	-0,15	35	34	1,0
oct08-nov08	-0,15	62	37	1,7
nov08-dic08	-0,11	29	22	1,3
dic08-ene09	-0,20	17	39	0,4
ene09-feb09	0,08	108	28	3,9
feb09-mar09	0,10	125	24	5,2
mar09-abr09	-0,07	72	39	1,8
abr09-may09	-0,03	38	29	1,3
may09-jun09	-0,02	38	34	1,1
jun09-jul09	0,49	150	29	5,2
jul09-ago09	-0,11	20	27	0,7
ago09-sep09	0,15	89	35	2,5
sep09-oct09	-0,09	50	25	2,0
oct09-nov09	0,19	105	38	2,8
nov09-dic09	-0,26	13	18	0,7
dic09-feb10	-0,27	46	46	1,0
feb10-mar10	0,36	208	28	7,4
mar10-abr10	-0,08	66	36	1,8

Tabla 5.4. Variaciones de los niveles freáticos y precipitaciones (nov07-abril10)

La relación entre la cantidad de precipitaciones, y los días transcurridos entre las mediciones que manifiestan un cambio en el comportamiento de la capa freática se da en la Tabla 5.4. De esta manera se trató de definir un índice que reflejara tal relación. En términos generales, valores menores a 2 significan una profundización de los niveles, mientras que los mayores a 5 muestran un ascenso superior a 0,35 m. (Figura 5.10). Puede observarse que un valor similar (5,2) se dio en dos

oportunidades, en una las variaciones de niveles fueron 0,1 m y en otra 0,49 m. El primer caso corresponde a junio-julio de 2009, y en el otro febrero-marzo de 2009, con precipitaciones de 125 y 150 mm respectivamente. En los meses de invierno, que es el primer caso, los mayores excesos de agua (125 mm) se manifiestan en un ascenso de la capa freática de 0,49 m. En cambio en el verano, con menores excesos (87 mm), el aumento es de tan solo 0,1 m. Los índices más altos, si bien se dan en verano, representan a precipitaciones superiores a 200 mm.

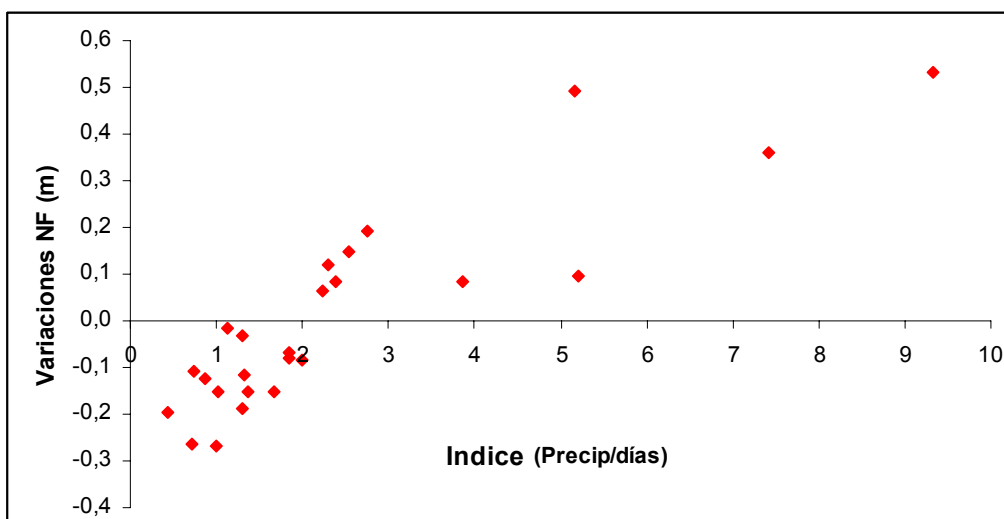


Figura 5.10. Relación variaciones de nivel freático e índice.

En la Figura 5.11 se corrobora lo observado en la Tabla 5.4. En términos generales lluvias superiores a 60 mm se manifiestan en variaciones positivas (ascenso de los niveles) mientras que las menores producen variaciones negativas (descenso) en el periodo entre mediciones.

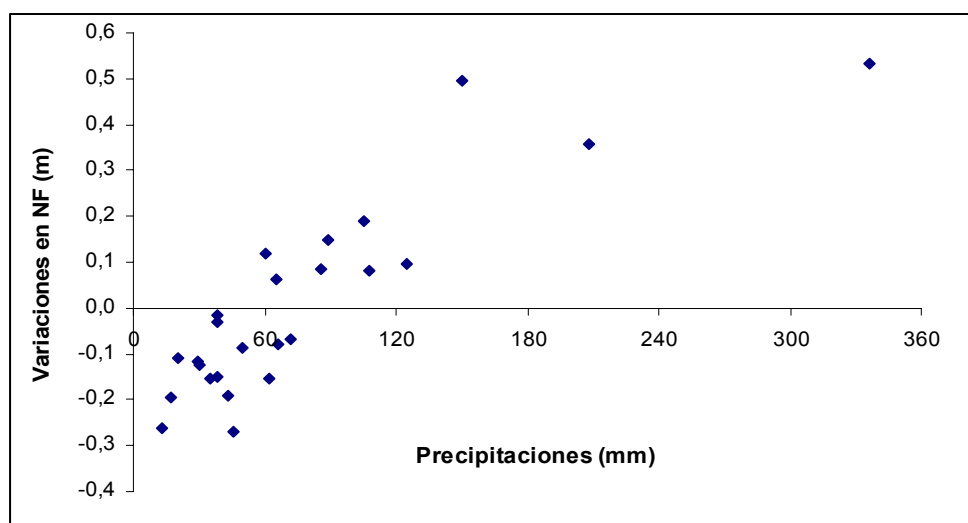


Figura 5.11. Relación variaciones de nivel freático y precipitaciones

A partir de los datos del registrador continuo situado en la estación meteorológica de la Planta 2 y colocado en el pozo 43, en el sector de predominio de recarga en el médano, se comprobó el comportamiento del nivel freático entre el 14/11/2007 y el 31/01/2009. En la Figura 5.12 se observa una tendencia general a la profundización de la capa freática con una respuesta casi inmediata ante las precipitaciones que generan una recarga en el acuífero. Luego de la recuperación los niveles continúan profundizándose hasta la próxima lluvia. En general los ascensos no sobrepasan los 0,10 m a excepción de las precipitaciones del 26 de febrero de 2008 (180 mm). En este caso se produce un ascenso del orden de 0,40 m, siendo 0,53 m el valor medio en todos los pozos de la red de monitoreo. El valor mínimo se produce el 30 de enero de 2009 en coincidencia con el resto de los pozos monitoreados.

De acuerdo a las mediciones con paso mensual se deducía un ascenso en los niveles cuando las precipitaciones superaban 60 mm en el lapso de medición. El registro continuo permitió definir que en el detalle diario los ascensos del agua subterránea se manifiestan con lluvias diarias superiores a 30 mm.

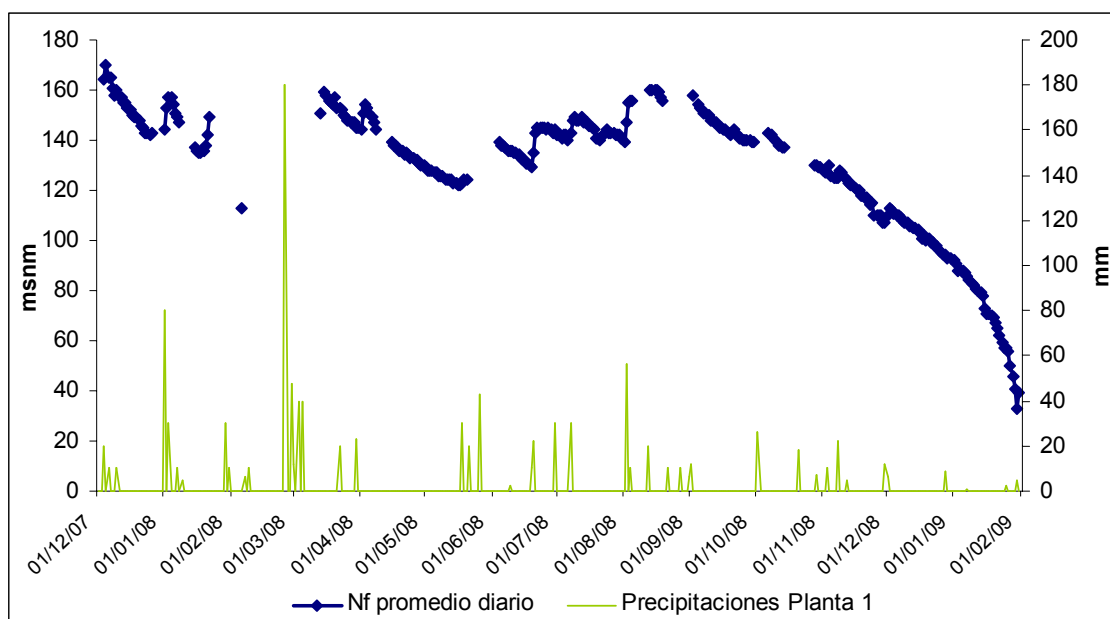


Figura 5.12. Niveles freáticos pozo 43 y precipitaciones

La relación entre las variaciones de los niveles freáticos y los excesos de agua en el balance hídrico muestra que existe una respuesta de los niveles cuando los excesos son, en general, mayores a 20 mm. (Figura 5.13)

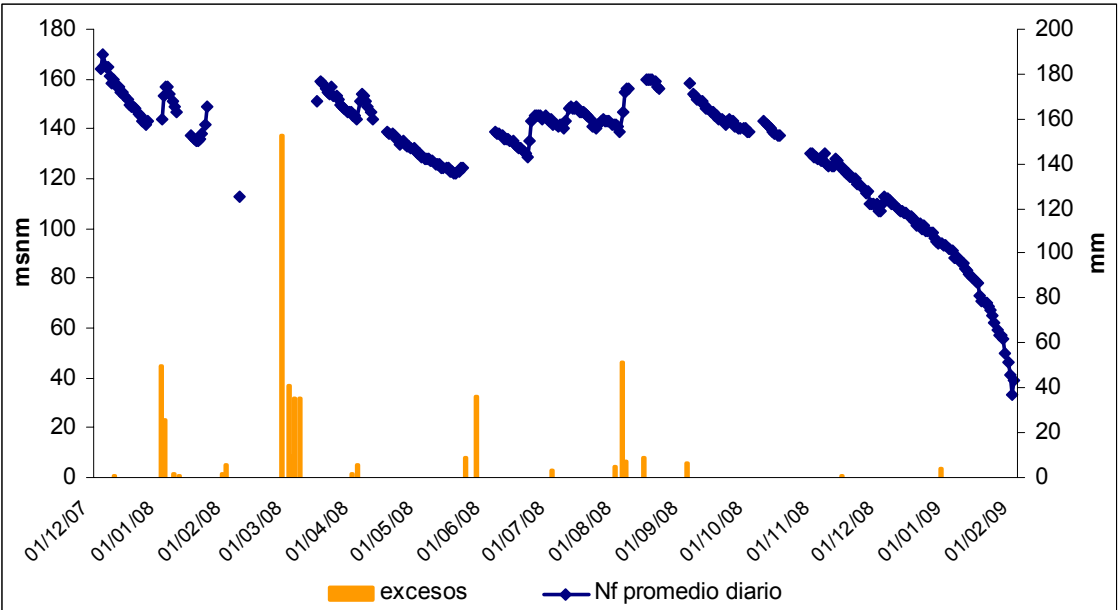


Figura 5.13. Niveles freáticos pozo 43 y excesos

6. MODIFICACIONES DEL CICLO HIDROLÓGICO

6.1. Variabilidad (1976-2006)

De acuerdo a lo analizado en el capítulo de Hidrometeorología las precipitaciones, como fuente de ingreso al sistema hídrico en sus términos medios se han mantenido o mostraron un escaso aumento en el periodo 1925-2008.

Se han elaborado balances hídricos diarios para el período anual previo a los relevamientos de aguas subterráneas de 1976, 1987 y 2006. Es decir que se analizaron los períodos marzo -1975 a febrero-1976, septiembre-1986 a agosto-1987 y noviembre-2005 a octubre-2006. Los resultados de los balances hídricos se sintetizan en la Tabla 6.1.

	Precipitaciones	Excesos
1976	977	409
1987	921	424
2006	906	377

Tabla 6.1. Balance hídrico

La precipitación durante el año previo a cada uno de los relevamientos se encuentra en el entorno de los valores medios (entre 906 y 977 mm). Los excesos de agua oscilan entre 377 mm en 2006 y 424 mm en 1987. De esta manera, se deduce que los relevamientos de 1976, 1987 y 2006 responden a condiciones en que los balances hídricos son representativos de las condiciones climáticas medias y los excesos no presentan diferencias significativas. A partir de ello se puede reconocer que el ingreso de agua al sistema subterráneo no muestra variaciones importantes para las situaciones representadas.

De acuerdo a las condiciones establecidas, se reconoce que en el médano se produce la infiltración de prácticamente la totalidad de los excesos, los cuales alimentarán a la capa freática. Es decir que la infiltración para los períodos anuales analizados varió entre 377 y 424 mm.

En la zona urbana, para aproximar un porcentaje estimativo de la infiltración con respecto a la precipitación, se estimó que el 85-90% de la lluvia es drenada por la

red pluvial, restando un 10-15% de agua disponible para infiltración y recarga (Vázquez Suñé y Sanchez-Vila, 1997). De acuerdo a ello y a los balances hídricos, la infiltración en la zona urbanizada oscilaría entre 57 y 61mm.

En base a los mapas de flujo (Figura 5.3), a los parámetros hidráulicos del acuífero (coeficiente de permeabilidad 20 m/d y porosidad efectiva 0,10) y considerando como plano de referencia el 0 m s.n.m., se estimó el volumen de agua dulce disponible, desde dicho plano, para cada uno de los relevamientos según la distribución de las zonas de uso de suelo. (Figura 6.1). En la Zona 1 (escasa urbanización) para 1976 el agua almacenada presentaba un valor de 0,24 hm³, la Zona 2 (médano) de 0,79 hm³ y la Zona 3 (urbanizada) de 0,06 hm³, mientras que en 2006 corresponden a 0,50 hm³; 0,34 hm³ y 0,13 hm³ respectivamente.

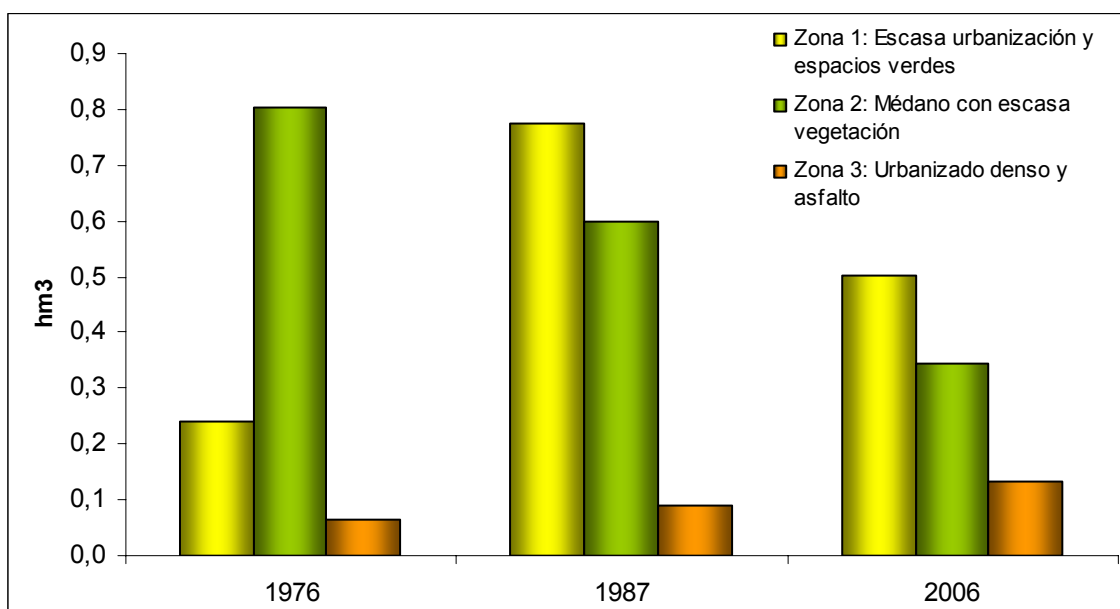


Figura 6.1. Volumen de agua subterránea por censo

A partir de los volúmenes y las áreas de cada una de las zonas fue posible estimar el agua disponible por unidad de área y así reconocer comparativamente el significado de esa agua almacenada y sus variaciones temporales.

En la Figura 6.2 se han representado dichas variaciones expresadas en mm, observándose que una menor lámina de agua caracteriza a la zona urbanizada (Zona 3) y una mayor a la zona de médanos (Zona 2). Independientemente de la evolución de las áreas de cada zona, los menores valores de lámina de agua en la Zona 3 (urbana) verifican los efectos de la disminución de la infiltración, producto de la impermeabilización del terreno y la existencia de escurrimiento superficial, cuyo

volumen se pierde a través de los desagües al mar. Comparativamente con la zona urbana, los mayores valores de la lámina de agua observados en el Zona 2 (médanos) son la respuesta de una infiltración sin impedimentos de los excesos de agua.

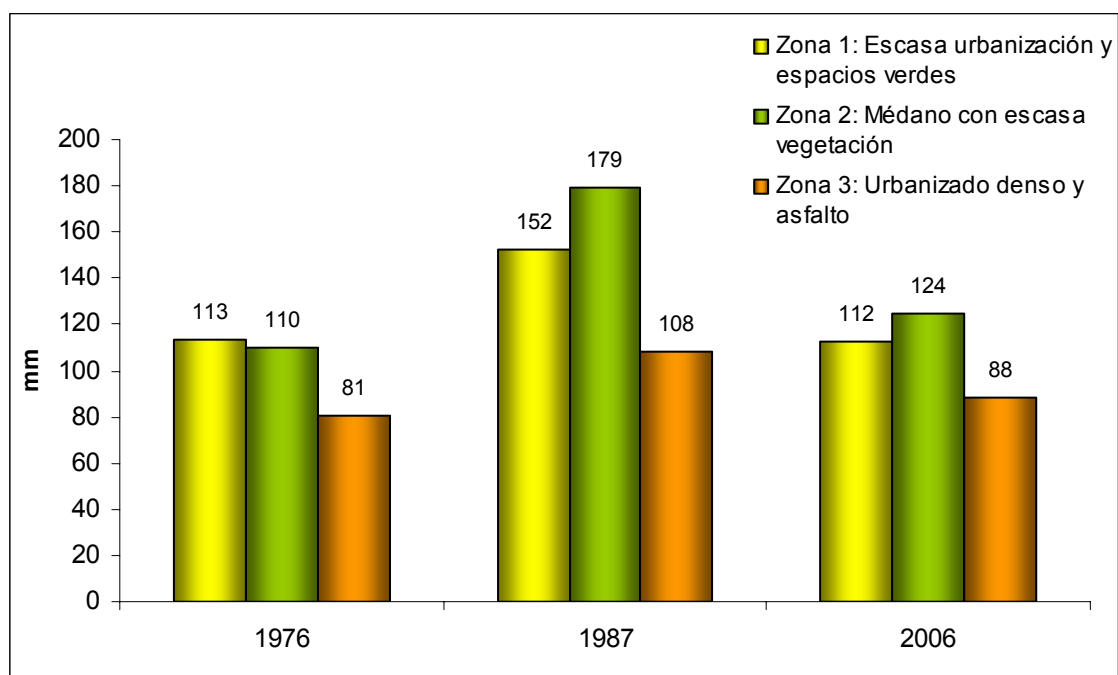


Figura 6.2. Lámina de agua calculada por zona para cada relevamiento.

A partir de los tres relevamientos analizados (1976, 1987 y 2006), se observa que las modificaciones en el uso del suelo se reflejan en el comportamiento del acuífero freático.

La lámina de agua almacenada por unidad de área en la zona de médanos es significativamente superior (entre 36 y 65%) a la correspondiente a la zona urbanizada.

Por otra parte la situación más desfavorable se verifica en el volumen relativo de agua almacenado en la zona de médano (Zona 2) que ha disminuido con el transcurrir del tiempo, para condiciones climáticas relativamente similares, como consecuencia de la reducción areal de las superficies de recarga natural del acuífero. En 1976 ese valor relativo significaba $0,79 \text{ hm}^3$ (un 72% del total en el área de análisis), mientras que en 2006 es de $0,34 \text{ hm}^3$ (35%).

6.2. Variabilidad (2006-2007)

Luego de analizar el comportamiento de la recarga a partir de censos históricos, se procedió con un tratamiento similar sobre datos de mediciones propias más recientes (octubre de 2006 y noviembre de 2007). Se realizaron balances hídricos diarios de acuerdo a los datos de precipitación para dos años hidrológicos: octubre 2005-septiembre 2006 y octubre 2006-septiembre 2007.

A partir de las zonas definidas previamente en cuanto a usos del suelo, se seleccionaron dos áreas para comparar las variaciones de los niveles freáticos. Las Zonas 1 y 3 fueron las elegidas dadas sus características contrastantes.

En la Figura 6.3 se pueden visualizar los mapas isofreáticos correspondientes a octubre de 2006 y noviembre de 2007.

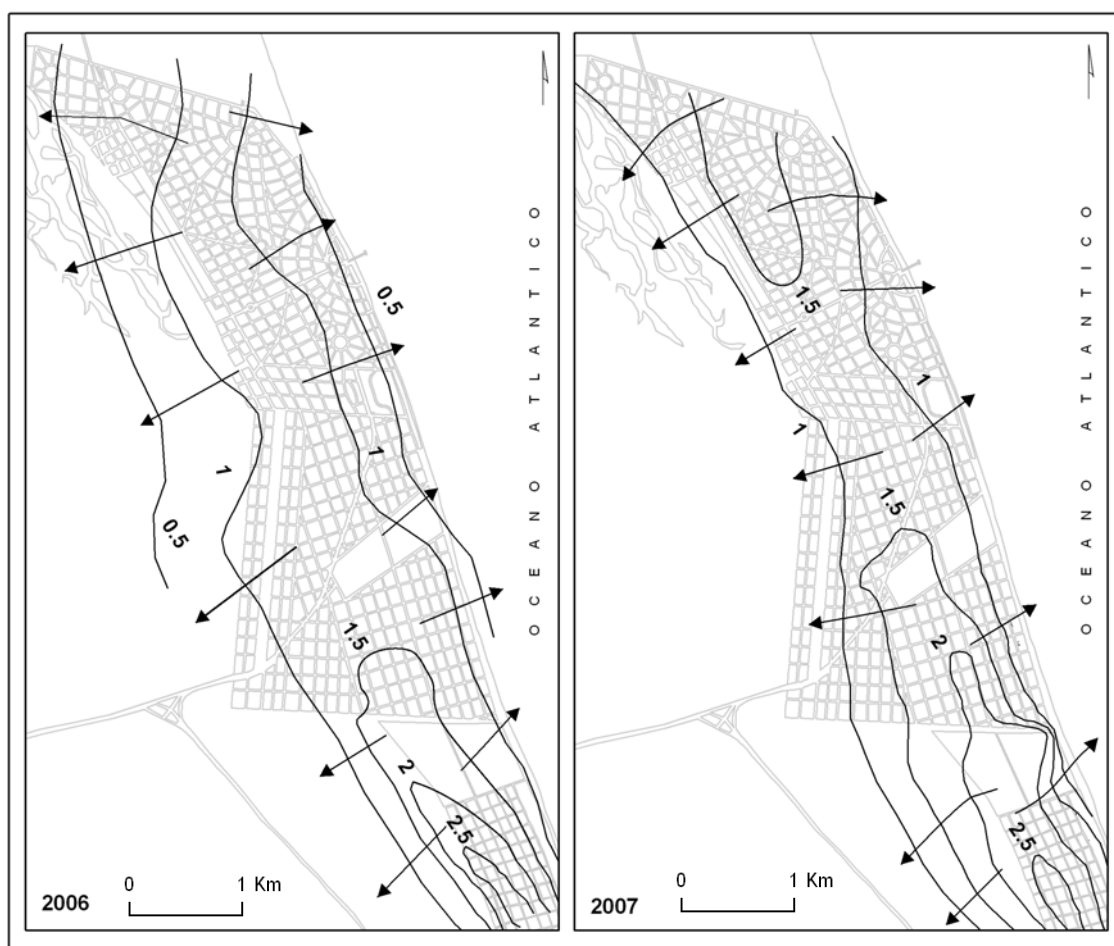


Figura 6.3. Mapas isofreáticos censo 2006 y 2007

Para octubre de 2006, en el sector sur de la localidad, se reconoce un área elevada en la morfología freática, con curvas isofreáticas que oscilan entre 1,5 y 2.5 m s.n.m. En noviembre de 2007 el sector delimitado por la curva de 1,5 m s.n.m., ha aumentado su área y se manifiesta un sector elevado (curva de 1,5 m s.n.m.) en el sector norte de la ciudad que no aparecía en 2006. Ello es consecuencia que 2007 es un año hidrológico con excesos mayores al 2006.

En la Tabla 6.2 se pueden observar los valores de gradiente máximos y mínimos calculados.

	2006	2007
i máx	0,0028	0,0032
i min	0,0008	0,0009

Tabla 6.2. Gradientes hídricos para 2006 y 2007

A partir de los mapas de flujo, se digitalizó el área entre curvas y se calculó el volumen de agua al momento del censo 2006 y 2007 a partir del 0 m s.n.m. como plano de referencia. Se presentan los resultados en la Tabla 6.3 para las dos áreas seleccionadas.

	Volumen (hm ³)		
Zona	2006	2007	Incremento
Urbanizada	0,13	0,17	0,04
Médano	0,25	0,38	0,14

Tabla 6.3. Volumen almacenado e incremento

En la zona de médano el incremento del volumen es mayor que en el área urbanizada. Por otro lado teniendo en cuenta los valores de incremento obtenidos y la superficie de cada zona se calcularon los valores medios de variación de la lámina (en mm) por área de un año hidrológico al otro. Para la zona urbanizada el valor es de 27,2 mm, mientras que para el médano es de 64 mm. Por lo tanto, la zona de médanos presenta valores de variación de nivel freático tres veces superiores a la cantidad de agua de la zona urbana.

En el mapa de isovariaciones se observa un predominio marcado de los sectores donde el nivel freático tuvo un ascenso (Figura 6.4).

Para la zona urbanizada son dominantes y presentan una amplia distribución areal las variaciones entre los 0 y 0,3 m. (Figura 6.4-1)

En la zona de médanos es predominante arealmente el rango que va de 0,3 a 0,6 m. (Figura 6.4-2)

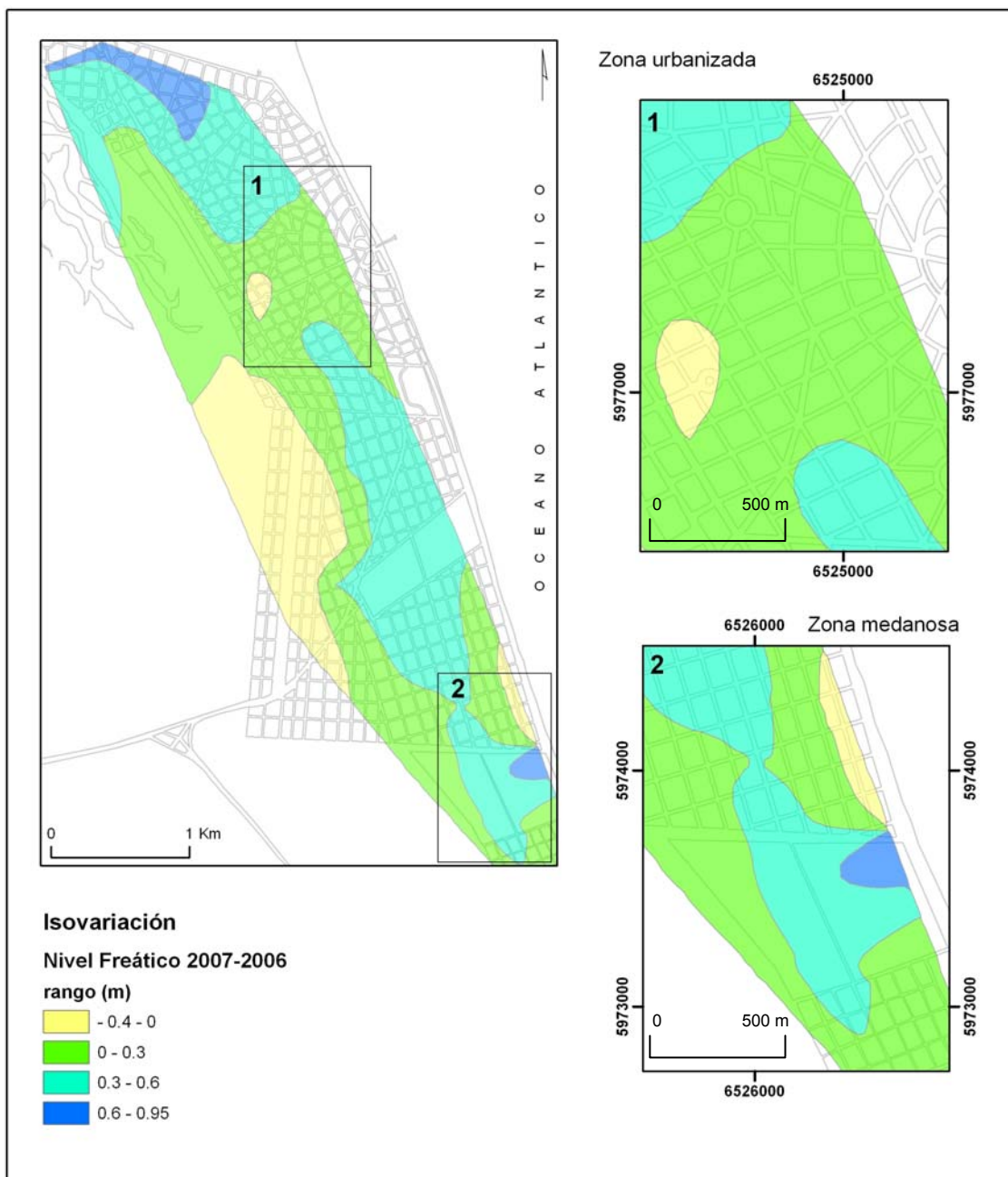


Figura 6.4. Mapa de isovariación entre los censos 2006 y 2007. 1) zona urbanizada.

2) zona medanosa

En el área caracterizada por un suelo medanoso con escasa vegetación los valores de variación de niveles freáticos triplican a los del sector altamente urbanizado.

Los mayores rangos de ascensos en el nivel freático se registran en esta zona. En el área urbanizada con calles asfaltadas, si bien se registran ascensos estos son menores.

6.3. Respuesta del nivel freático a un evento de precipitaciones máximas

Los eventos de altas precipitaciones generalmente se estudian en los procesos referidos a las aguas superficiales, que presentan una respuesta hidrológica rápida. En el ambiente natural de médanos, como consecuencia de las características morfológicas, de la inexistencia de una red de drenaje y de la alta permeabilidad de los sedimentos, el escurrimiento superficial tiende a cero y los excesos de agua de un evento de altas precipitaciones se manifiestan en el aumento de la alimentación del sistema hídrico subterráneo.

En la Figura 6.5 se pueden visualizar los mapas isofreáticos correspondientes a febrero y marzo de 2008. En correspondiente a febrero de 2008, se reconoce un área elevada en la morfología freática ubicada en el sector sur de la localidad, con curvas que oscilan entre 1,5 y 2 m s.n.m.

A partir de los datos de marzo, como consecuencia de las abundantes precipitaciones ocurridas a fines de febrero (244 mm), puede observarse que el sector delimitado por la curva de 1,5 m s.n.m., ha aumentado su área y aparecen las curvas de 2,5 y 3 m s.n.m. También se manifiesta un área elevada con la curva de 1,5 m s.n.m. en el sector norte que no aparecía en febrero.

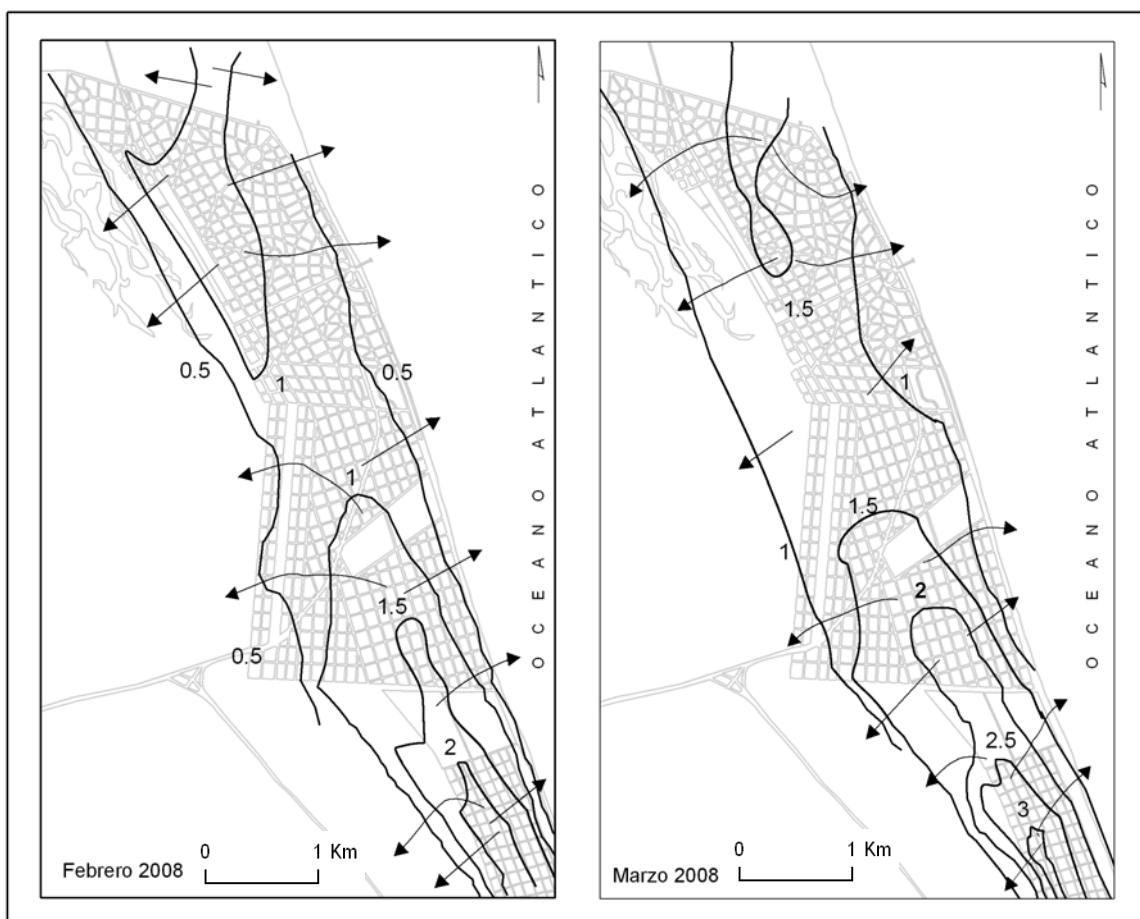


Figura 6.5. Mapas isofreáticos del censo de febrero y de marzo de 2008

Las diferencias del nivel freático entre los dos periodos mencionados muestra que se produjo un ascenso en toda el área. Para el sector sin urbanización oscila entre 0,60-0,87 m y en las zonas urbanizadas entre 0,40-0,60 y 0,18- 0,40 m. (Figura 6.6)

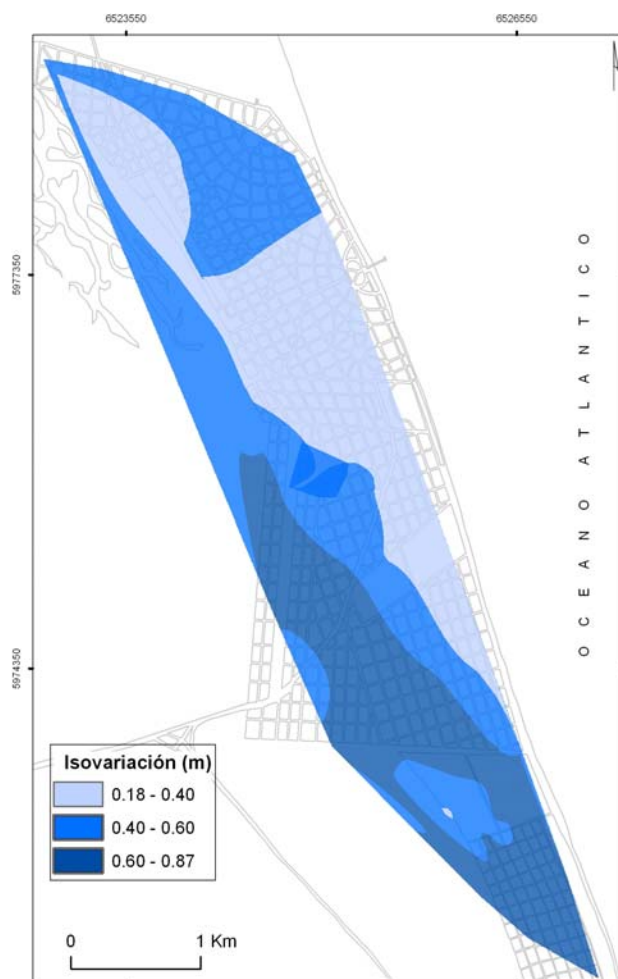


Figura 6.6. Variación de niveles freáticos entre febrero y marzo de 2008

A partir de los mapas isofreáticos se estimó el volumen saturado a partir del 0 m s.n.m. Los valores para los relevamientos de febrero y marzo, fueron de 0,98 y 1,63 hm^3 respectivamente. Puede observarse un incremento total de 0,65 hm^3 de un mes al otro (Figura 6.7a)

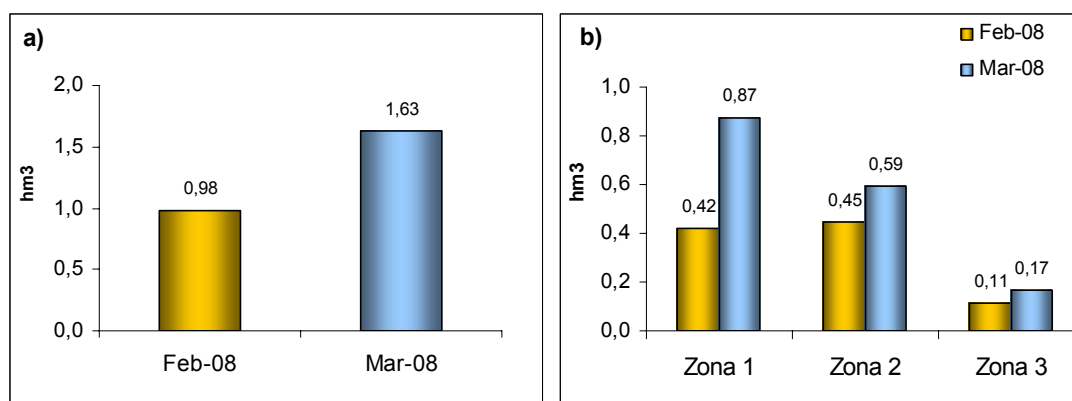


Figura 6.7. Volumen de agua subterránea almacenado

El volumen de agua, considerando cada zona de uso del suelo, presenta un incremento generalizado en todos los casos, aunque en los sectores con escasa urbanización y sin urbanización el aumento es más significativo resultando un porcentaje de incremento para el primero del 70%, para el segundo del 22 % y, para el sector urbano del 8% (Figura 6.7b).

La infiltración media estimada a partir de las variaciones isofreáticas es de un 30% de la precipitación. Una mayor infiltración se da en las áreas sin urbanización y con escasa urbanización (entre 26 y 38% de la precipitación), mientras que una menor ocurre en el área urbanizada (15% de la precipitación).

El escurrimiento en las zonas urbanizadas se puede dividir en dos componentes interrelacionados. El escurrimiento superficial por techos, veredas, calles, etc. que puede drenar hacia la red de conductos a través de obras de captación o hacia el cuerpo receptor principal (río, mar, lago,) y el escurrimiento en la red de conductos, los cuales transportan el agua captada del sistema superficial por medio de bocas de tormenta y zanjías, que drenan hacia el cuerpo receptor (Basile y Riccardi, 2000).

La impermeabilización de la superficie del terreno reduce tanto la infiltración como la evaporación, incrementando y acelerando el escurrimiento superficial. La recarga también disminuye en la superficie edificada (urbanizada) porque existen desagües pluviales al mar (Figura 6.8 y 6.9).



Figura 6.8. Caños pluviales colocados en la Av. Costanera que descargan hacia la playa y el mar



Figura 6.9. Desagüe que termina en la playa, donde posteriormente el flujo se conduce al mar.

Por estas razones en el ambiente urbano, eventos de tormenta como el analizado, traen como consecuencia inundaciones en la zona pavimentada, sobre todo en el sector costanero y del centro comercial, como así también la pérdida de un importante volumen de agua hacia el mar, que constituiría una potencial recarga al acuífero. (Figura 6.10)



Figura 6.10. Calles inundadas en la Costanera de San Clemente del Tuyú.

En el evento de altas precipitaciones analizado, se reconoció un ascenso generalizado de los niveles freáticos este comportamiento se manifiesta de manera diferencial según se trate de la zona sin urbanizar o del área urbana. En las áreas caracterizadas por medanos sin urbanizar y con escasa vegetación y las zonas con escasa urbanización con espacios verdes, los valores de variación mensual de niveles freáticos triplican a los del sector altamente urbanizado.

La disminución de la infiltración en los sectores urbanizados se relaciona con un incremento del escurrimiento superficial que cuando se producen lluvias significativas da lugar a inundaciones de distintas magnitud en los sectores más poblados.

7. HIDROQUÍMICA E ISÓTOPOS

7.1. Caracterización hidroquímica

En un agua subterránea natural la mayoría de las sustancias disueltas se encuentran en estado iónico, siendo los aniones mayoritarios Cl^- , SO_4^{2-} , y CO_3H^- . Los cationes por su parte son el Na^+ , Ca^{++} y Mg^{++} . Las determinaciones realizadas incluyeron a dichos elementos mayoritarios y NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , K^+ , F^- , As, Fe total y Mn^{++} .

Los datos correspondientes a los muestreos de 2006 y 2008 permitieron la caracterización general de las condiciones hidroquímicas. En el primer caso la recolección se realizó en pozos domiciliarios y en el segundo en la red de monitoreo. Los valores medios, máximos y mínimos para cada caso pueden verse en la Tabla 7.1.

Analito	Unidad	Media		Máximo		Mínimo	
		2006	2008	2006	2008	2006	2008
pH	U de pH	7,3	7,5	7,9	8,4	6,7	6,9
Conductividad a 25 °C	uS/cm	2022	1842	7000	11390	644	218
Dureza total	mg/L	436	233	900	1400	150	42
TSD	mg/L	1204	1230	4190	7599	310	149
Alcalinidad	mg/L	504	482	1380	1403	250	99
Calcio	mg/L	110	40	264	220	20	12
Magnesio	mg/L	40	32	124	206	3	3
Sodio	mg/L	255	229	1220	1995	39	13
Potasio	mg/L	25	18	47	65	10	4
Hierro	mg/L	0,33		3,50		0,03	
Manganeso	mg/L	0,24		1,20		0,03	
Bicarbonatos	mg/L	615	588	1684	1712	305	121
Cloruros	mg/L	349	306	1633	3182	28	12
Sulfatos	mg/L	35	57	148	593	6	1
Fluoruros	mg/L	0,45	0,44	1,40	1,70	0,20	0,20
Amonio	mg/L	0,21	<0,03	1,50	<0,03	0,03	<0,03
Nitratos	mg/L	21	9	180	54	3	3
Nitritos	mg/L	0,13	0,03	0,3	0,05	0,01	0,01
Arsénico	mg/L	0,02	0,02	0,08	0,03	0,01	0,01

Tabla 7.1. Valores medios, máximos y mínimos para los muestreos obtenidos

Si bien los valores aparentan una marcada variación, se diferencian las características del agua en el cordón costero con tenores relativamente homogéneos de baja salinidad (< 1500 mg/L) y la llanura deprimida de alta salinidad con una fuerte heterogeneidad areal. En general existe una fuerte concordancia entre los valores obtenidos en 2006 y 2008.

En el cordón costero la conductividad eléctrica es menor a $2000 \mu\text{S}/\text{cm}$ y los sólidos totales disueltos (TSD) no exceden los 1500 mg/L. La alcalinidad y el bicarbonato son menores a 600 mg/L y 750 mg/L respectivamente. La dureza total varía entre 100 y 400 mg/L. El contenido de sulfato es inferior a 100 mg/L. La concentración de fluoruro varía entre $0,2$ y $1,7$ mg/L, con un valor medio del orden de $0,40$ mg/L. Los valores de sodio son menores a 500 mg/L y el potasio a 20 mg/L. El magnesio presenta una distribución algo más heterogénea con valores menores a 50 mg/L en la mayoría del área y sectores restringidos con un rango entre 50 y 100 mg/L. La concentración de calcio varía entre 100 y 200 mg/L en 2006, mientras que en 2008 es menor que 50 mg/L. Los tenores de cloruro se encuentran por debajo de los 400 mg/L.

La llanura deprimida se caracteriza por presentar sólidos totales disueltos mayores a 1500 mg/L con extremos en 7600 mg/L. La alcalinidad es superior a 800 mg/L alcanzando los 1400 mg/L. En cuanto a los bicarbonatos predominan tenores entre 400 y 800 mg/L. En algunos sectores más reducidos hay valores por encima de este límite, alcanzando un máximo de 1700 mg/L. La dureza total supera los 400 mg/L y puede alcanzar valores de 1400 mg/L. Los sulfatos en 2006 presentan tenores menores a 200 mg/L, mientras que en 2008 hay sectores con concentraciones mayores, llegando al máximo alrededor de 600 mg/L. Los fluoruros son menores a $0,5$ mg/L en las determinaciones de 2006 pasando a una distribución entre los $0,5$ y 1 mg/L para 2008. Los valores de sodio en general presentan tenores entre 500 y 1000 mg/L y alcanzan máximos de 2000 mg/L. El potasio se caracteriza por un máximo de 65 mg/L, con una distribución predominante entre 20 y 40 mg/L. En magnesio se encuentra entre 50 y 100 mg/L, con algunos sectores por encima de este valor y un máximo de 200 mg/L. El calcio, muestra tenores entre 50 y 200 mg/L con algunos sectores de concentraciones mayores en 2006, mientras que en 2008 el área se distribuye entre valores por debajo de los 50 mg/L y 200 mg/L. Los tenores de cloruros oscilan entre 400 y 3200 mg/L.

Los mapas de isocontenidos (Anexo 9) correspondientes a los relevamientos de 2006 y 2008 permiten reconocer las variaciones areales de los compuestos químicos descriptos. El cordón costero presenta una baja salinidad, con alcalinidad,

bicarbonatos, dureza, sulfatos, sodio, potasio, magnesio, calcio y cloruros en concentraciones menores que la llanura deprimida.

En algunos elementos químicos no se evidencia una concordancia con los ambientes geomorfológicos, tal es el caso del hierro y manganeso. Los máximos valores para ambos se localizan en el sector sur de la localidad. Para el manganeso a su vez se observan tenores más altos en el centro del médano que disminuyen en general en sentido del escurrimiento al este y oeste. No parece ser el mismo caso para el hierro. El hierro oscila entre 0,02 y 3,5 mg/L y el manganeso entre 0,02 y 1,2 mg/L (Figura 10 en Anexo 9). Sala et al. (1979) reconoce valores de hierro entre 0,01 y 4,35 mg/L. Girardi (1984) recolectó muestras a diferentes profundidades en los pozos para obtener una zonación, determinando tenores de hierro de 0,05 a 10 mg/L. El manganeso oscila entre 0,3 y 9 mg/L. Se observó que en niveles más someros hay menores tenores de hierro y más de manganeso. En el estudio del MOSP (1985) también se mencionan los altos contenidos de estos elementos en los análisis químicos.

En cuanto a los nitratos, los valores medios varían entre 9 y 21 mg/L. Existen casos puntuales, en la zona semi urbanizada, donde se han detectado concentraciones superiores a los 50 mg/L: 97 y 180 mg/L en el muestreo de 2006 y 54 mg/L en 2008.

Los nitritos presentan valores menores a 0,10 mg/L, predominando tenores entre 0,03 y menos de 0,01 mg/L. El amonio también se detecta en bajos contenidos, menores a 0,03 mg/L salvo para un caso aislado en 2006 con 1,5 mg/L. El arsénico presenta tenores por debajo de 0,01 mg/L. En 2006 tres pozos obtuvieron valores superiores, dos con 0,04 y uno con 0,08 mg/L.

En 2009 se muestrearon 16 pozos de la red de monitoreo y los datos confirman el patrón general descripto para 2006 y 2008, con el agua de menor salinidad en el cordón costero, que se incrementa hacia el oeste en la transición con la llanura deprimida. En algunos casos (cloruros, sulfatos, bicarbonatos, sodio, potasio, dureza total) se reconoce un incremento relativo de los contenidos que podría relacionarse con el estado de los niveles freáticos que en 2009 se sitúan a mayor profundidad.

7.1.1. Variaciones químicas temporales

La caracterización hidroquímica general descripta para el período de relevamiento presenta una similitud con los resultados indicados por Sala et al., (1979). Estos autores indican para el cordón costero una salinidad menor a 2000 mg/L, con concentraciones de cloruros por debajo de 355 mg/L. Los sulfatos presentan tenores menores de 95 mg/L, la dureza total oscila entre 118 y 632 mg/L. Los fluoruros en el área no superan los 2 mg/L.

A su vez, se caracteriza hidroquímicamente a la llanura deprimida por una salinidad superior a 2000 mg/L con extremos en 8000 mg/L. Los cloruros superan los 700 mg /L, los sulfatos en general exceden los 100 mg/L. Los valores de dureza total son superiores a 500 mg/L, registrándose un máximo de 1787 mg/L.

Para corroborar la relación existente entre la caracterización química y los ambientes geomorfológicos y su evolución temporal, se evaluaron diferentes tipos de diagramas a partir de los datos de los relevamientos de 2006 y 2008, conjuntamente con los de 1987 (CFI, 1990b). En el diagrama de Piper (Figura 7.1) puede observarse dos grupos de muestras que se corresponden con los pozos ubicados en la zona del médano, al este, y la llanura deprimida en el sector oeste. Las aguas subterráneas del cordón costero son, en su mayoría, bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas, mientras que en la llanura deprimida, se clasifican como cloruradas y/o sulfatadas magnésicas.

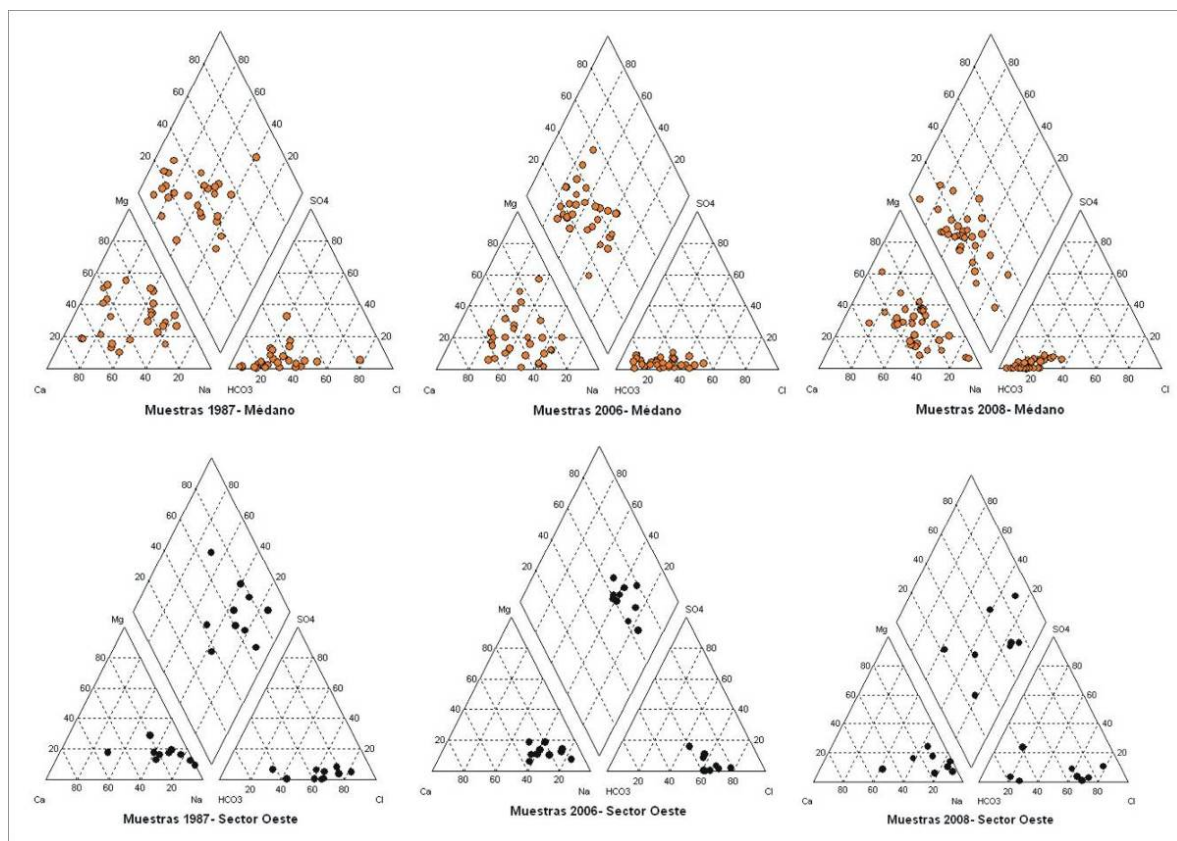


Figura 7.1. Diagramas Piper para los muestreos de 1987, 2006 y 2008 según el ambiente

En el diagrama de Shoeller-Berkaloff (Figura 7.2) tomado como ejemplo para el relevamiento de 2008, también se observa una separación de las muestras, así como en los diagramas radiales donde se ha elegido un pozo de cada ambiente (Figura 7.3)

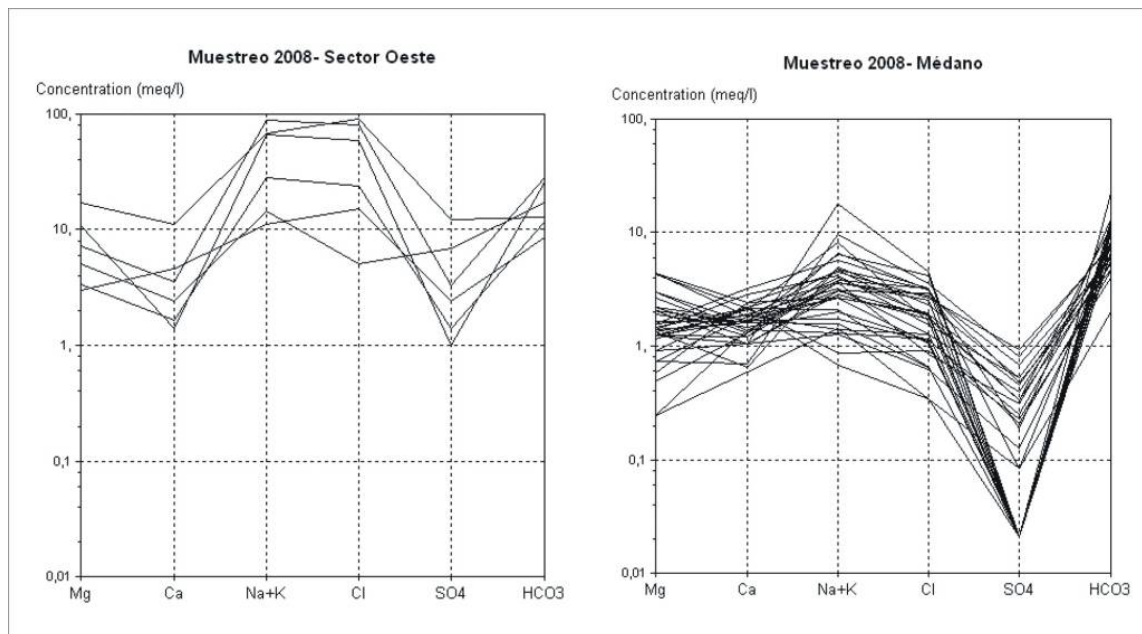


Figura 7.2. Diagramas Schoeller-Berkaloff para el censo 2008 según el ambiente

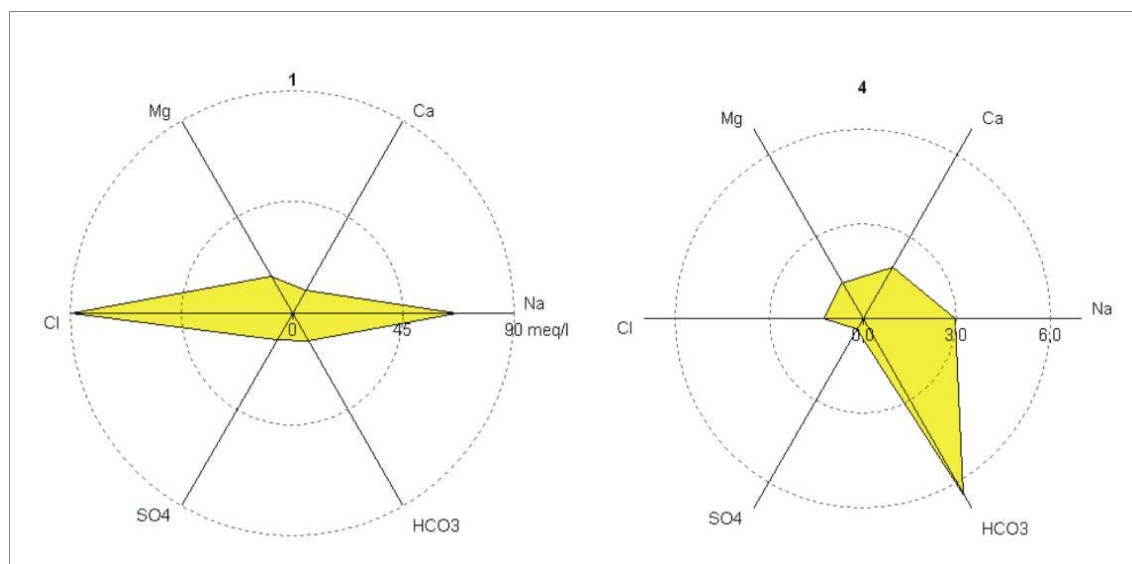


Figura 7.3. Diagramas radiales en el pozo 1 del sector oeste y el pozo 4 ubicado en el médano (censo 2008)

En las Figuras 7.4 y 7.5 se observan los mapas de isocontenidos de TSD y cloruro, seleccionados como ejemplo para efectuar una comparación entre los resultados químicos de 1976, 1987, 2006 y 2008.

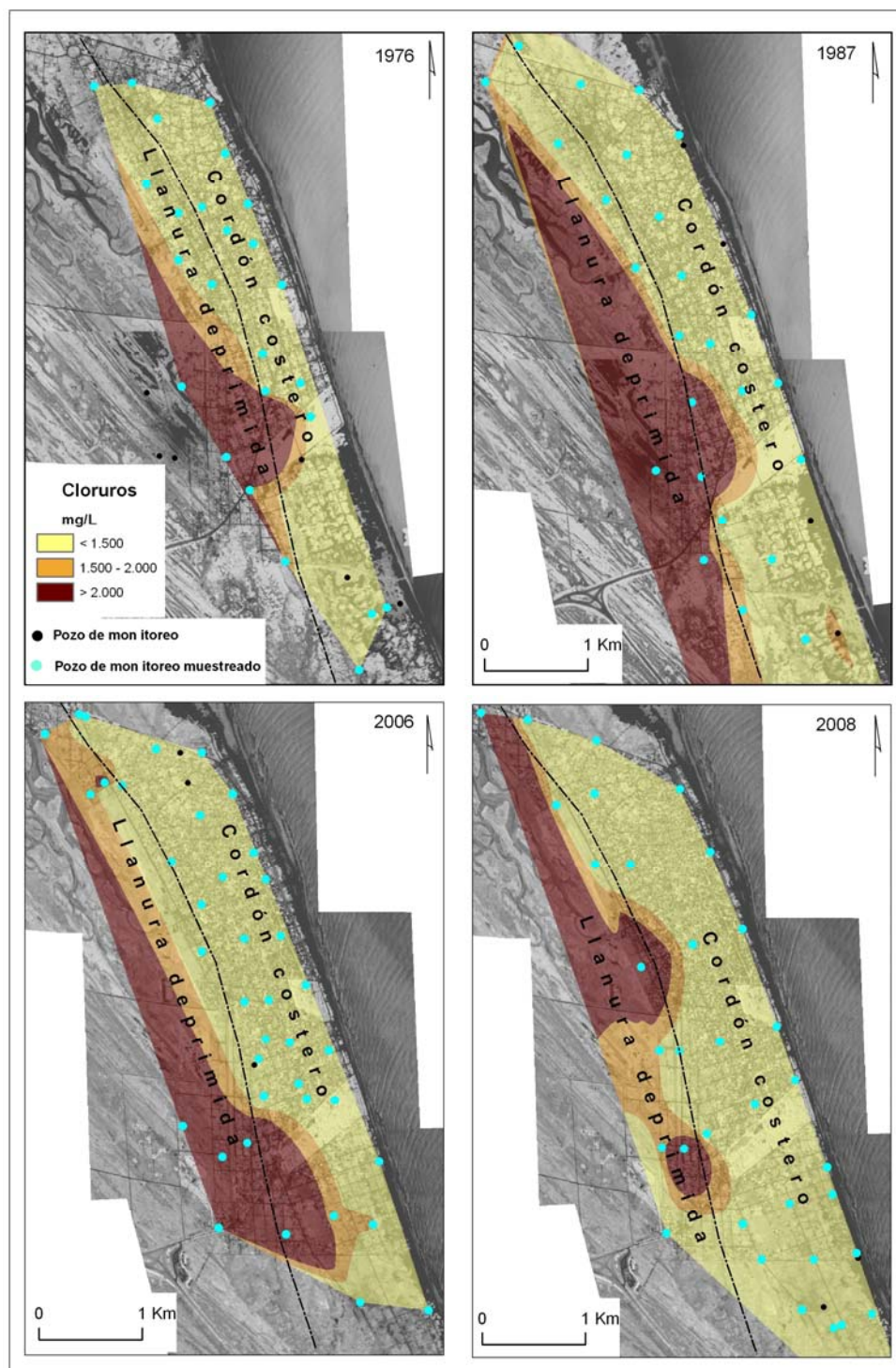


Figura 7.4. Mapa de isocontenidos de TSD para los censos analizados

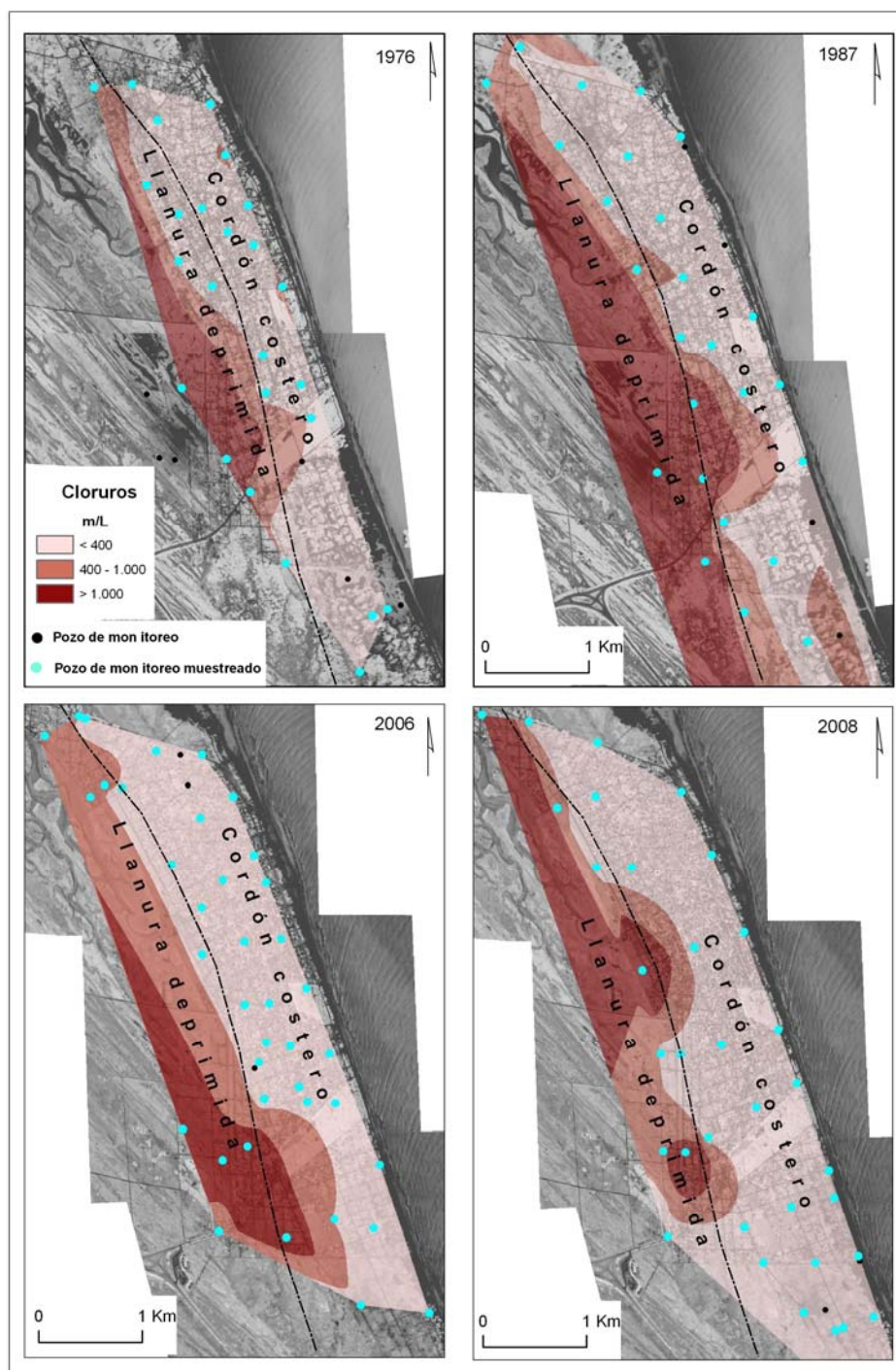


Figura 7.5. Mapa de isocontenidos de cloruros para los censos analizados

De acuerdo a estos mapas existen diferencias vinculadas a la distribución de los pozos que hacen que el trazado de las curvas no sea exactamente el mismo. De todas maneras se manifiesta una zona de mayor y menor salinidad según los ambientes reconocidos. El esquema general se ha conservado en el tiempo, manteniendo las concentraciones de TSD mayores a 1500 mg/L y cloruros a 350 mg/L

para el sector de la llanura deprimida, mientras que son menores a estos tenores en el cordón costero.

Los datos químicos elaborados permiten reconocer que la calidad del agua en los dos ambientes geomorfológicos descriptos está influenciada por distintos procesos hidrológicos. Las aguas bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas de bajo contenido salino existentes en el cordón costero responden a una rápida infiltración de los excesos de agua de las precipitaciones a través de los sedimentos arenosos que carecen de evaporitas. Las aguas cloruradas y/o sulfatadas magnésicas de alta salinidad de la llanura deprimida se encuentran con suelos de carácter más limo-arcilloso de menor permeabilidad, que permiten un tiempo de contacto mayor favoreciendo a la disolución de compuestos químicos. Además una mayor concentración de sales se asocia a procesos de evaporación desde el nivel freático dada la posición somera en que se localiza. Por otra parte se trata de una zona frecuentemente anegada por canales de marea que pueden aportar aguas salobres al agua freática.

7.1.2. Influencia en la salinidad de agua de un evento de tormenta

Los relevamientos de campo han permitido reconocer fuertes variaciones en la salinidad de algunos pozos, en particular en dos ubicados próximos a la costa (pozos 9 y 33) y uno en el sector oeste (pozo 6) (Figura 5.4).

El 2 de marzo de 2010 se realizaron mediciones de conductividad eléctrica del agua en la red de monitoreo para detectar la existencia de variaciones luego de la sudestada del 26 de febrero. En la Tabla 7.2 se observan los valores de conductividad para distintas fechas en los pozos 9, 6 y 33.

POZO	14/07/2008	28/07/2008	02/03/2010	17/03/2010	07/04/2010	30/09/2010
9	218		18400	9995	851	2166
6	2620	2550	9800		3030	
33	687	652	5250	698	716	628

Tabla 7.2. Evolución de la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) para los pozos 9, 6 y 33.

El significativo incremento producido en el evento mencionado, se relaciona con el ascenso en los niveles de agua de mar y de la ría producidos durante la

tormenta. En el caso del pozo 6 (oeste) se puede vincular a un aporte del agua por la ría cuya salinidad está en el orden de los 10000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En el pozo 33 se evidencia el ingreso del mar por un corte en el médano, que anega la zona y favorece la infiltración del agua salada desde la superficie hacia el acuífero. Frente al pozo 9 se encuentra localizado un desagüe pluvial que descarga el agua hacia el mar en caso de inundaciones sobre la Avenida Costanera. Esta obra no posee una compuerta que, en caso de tormenta y aumento del nivel del mar, impida el ingreso del agua salada hacia el continente.

El valor del 30 de septiembre de 2010 se relaciona con una sudestada ocurrida el día anterior. El pozo 9 presenta tenores elevados mientras que no ocurre lo mismo con el pozo 33, debido a que en esta oportunidad no se produjo el ingreso del mar por sobre el médano.

De acuerdo a lo expuesto, si bien no se han detectado evidencias de procesos de intrusión marina en condiciones climáticas estables, se ha advertido la salinización de algunos pozos luego de eventos de tormenta. Según el Panel Intergubernamental del Cambio Climático se estima que el promedio global de aumento del nivel del mar para el siguiente siglo estaría entre 0,18 y 0,59 metros (IPCC, 2007). Para Argentina se han calculado tasas de aumento del nivel del mar entre $+1,6 \pm 0,1$ mm/año para el estuario del Río de La Plata y $+1,4 \pm 0,5$ mm/año para Mar del Plata (Lanfredi et al., 1998). De acuerdo a Pousa et, al. (2007) la costa de la provincia de Buenos Aires resulta vulnerable a la erosión costera e intrusión salina especialmente relacionado a olas de tormenta de alta energía asociadas a fuertes vientos (sudestadas). En base al fenómeno de salinización detectado y los pronósticos para la región ante el cambio climático se advierte la necesidad de un seguimiento de las condiciones de la interfase agua dulce-agua salada con especial énfasis en los eventos de tormenta.

7.2. Uso del agua

La calidad del agua subterránea influye de una manera decisiva, no sólo en la expansión y desarrollo de las actividades humanas sino que constituye uno de los factores más importantes en la salud de la población.

Se presentan los resultados que se consideran más importantes de acuerdo a las determinaciones químicas realizadas y sobre la base de los valores

proporcionados por el Código Alimentario Argentino (A.N.M.A.T., 2007) como norma establecida para la potabilidad del agua.

Se evaluaron los mapas de isocontenidos teniendo en cuenta los límites aceptables para el agua de bebida según la normativa nacional, de acuerdo a los resultados de los muestreos realizados en 2006, 2008 y a los datos históricos de enero de 1976 (Sala et al., 1976) y de agosto de 1987 (CFI, 1990b).

Para el caso de cloruro, sodio, TSD, dureza y conductividad existe una coincidencia en tenores elevados en los pozos del sector al oeste de la localidad (llanura deprimida), que superan el límite de potabilidad. El resto de las muestras presentan valores aptos (Figura 7.6).

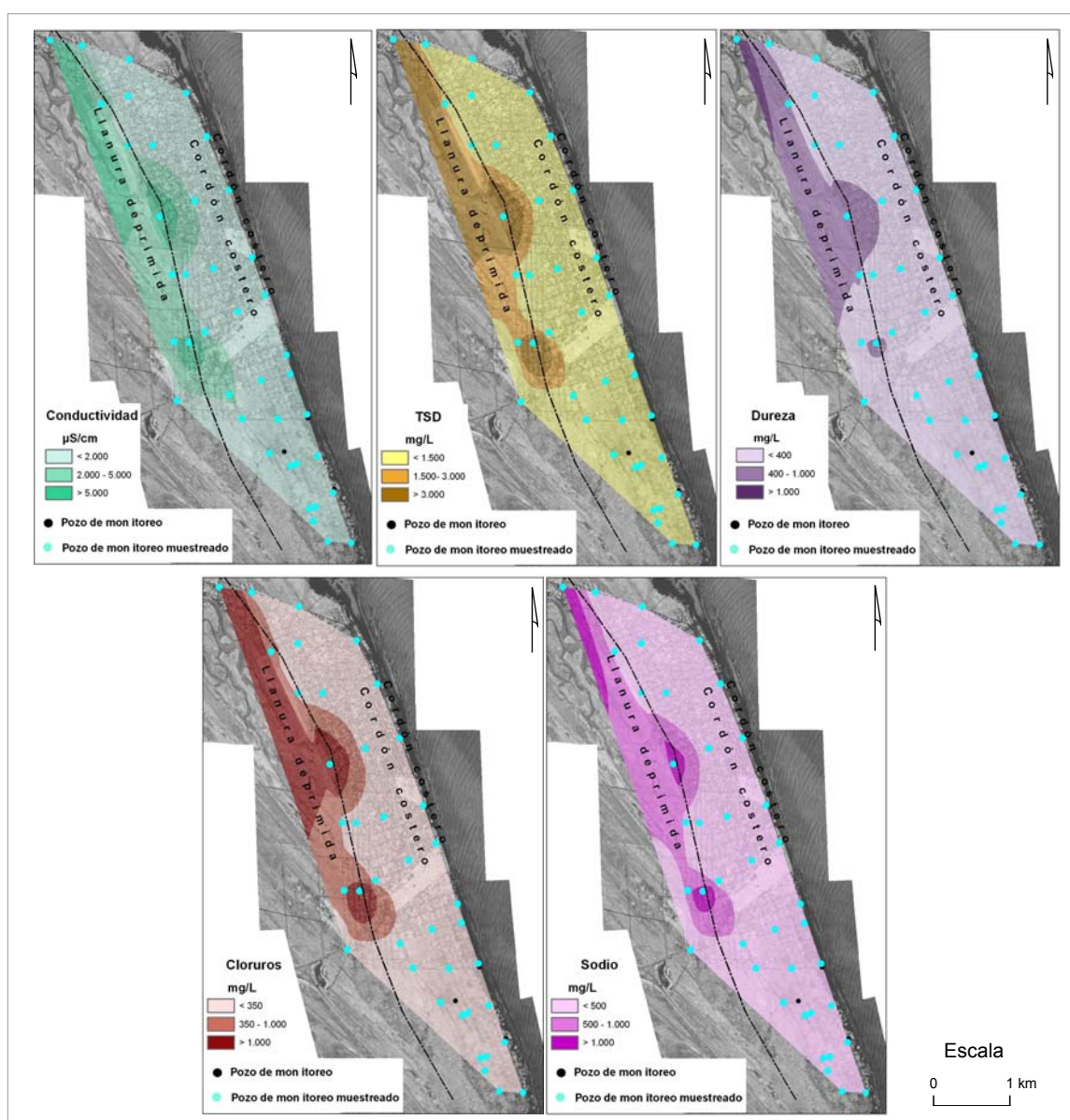


Figura 7. 6. Mapas de isocontenidos de conductividad, TSD, dureza, cloruro y sodio.

Para el relevamiento 2006 tres pozos superaron el límite aceptable de arsénico (0,01 mg/L), dos con 0,04 y uno con 0,08 mg/L. En los relevamientos (2006 y 2008), casi la totalidad de las muestras presentan un déficit en el contenido de fluoruro, con valores inferiores a 0,80 mg/L. Un solo un pozo en 2008 supera el límite superior de 1,5 mg/L.

Los valores de nitratos, cuyos datos de análisis estaban disponibles para 1987, 2006 y 2008 sólo presentan valores por encima de los 45 mg/L, en posiciones aisladas y puntuales. (2, 3 y 2 pozos respectivamente). Una situación similar se presenta para el caso de los tenores de nitritos y amonio, que fueron determinados en 2006.

Al evaluar en conjunto las concentraciones de cloruros, dureza y TSD, se logró establecer un sector al oeste incluido en la llanura deprimida, donde a lo largo de treinta años se mantienen tenores de estos tres elementos por encima del límite aceptable de potabilidad a lo cual se le suma, según el censo 2006, altos valores de hierro y manganeso en algunos sectores dentro de esta área (Figura 7.7). La moda de los valores excedidos van desde el límite aceptable hasta 900, 700 y 3400 mg/L, para cloruro, dureza y TSD respectivamente.

El cordón costero se caracteriza por presentar valores por debajo de los límites aceptables para cloruros, dureza y TSD.

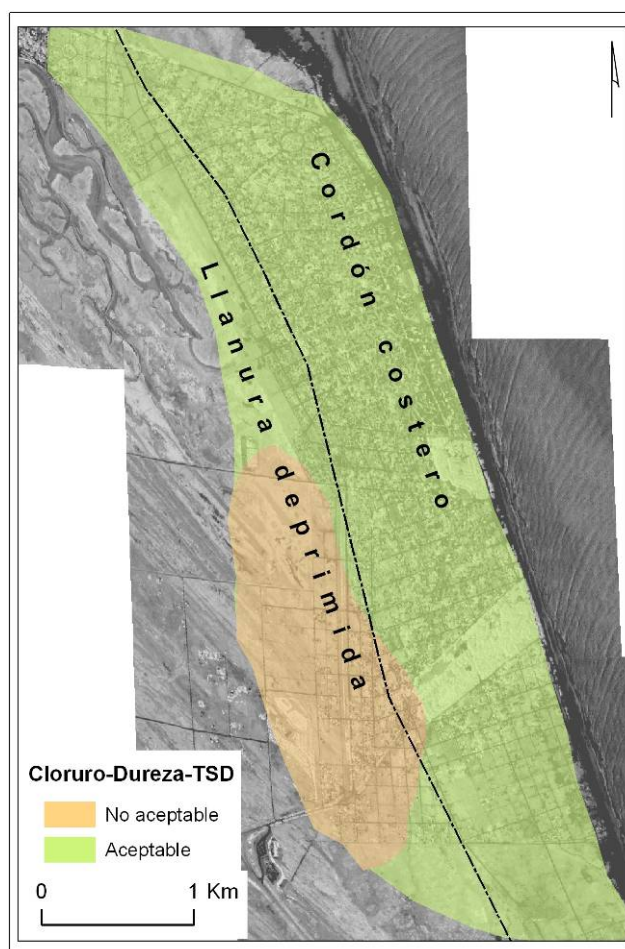


Figura 7.7. Sector al oeste no apto para consumo

Existen ocasiones en donde el agua subterránea posee valores elevados de hierro y manganeso, lo cual ocurre en el área estudiada.

El ión ferroso es un constituyente común en aguas subterráneas anóxicas. Su origen puede ser la oxidación parcial de la pirita, la disolución del Fe contenido en los minerales o la disolución reductiva de los óxidos de hierro. En los acuíferos arenosos, los óxidos de Fe y oxihidróxidos encontrados son ferrihidrita, goethita, lepidocrocita y hematita (Apello y Postma, 2007). Puede originar incrustaciones duras y con más de 0,5 mg/L son nocivas o molestas en general (Custodio y Llamas, 1996).

El manganeso tiene un comportamiento similar al Fe, en general está en forma de Mn^{++} que se oxida fácilmente a MnO_2 . En cuanto a la nocividad, al oxidarse forma manchas negruzcas que favorecen el crecimiento de ciertas bacterias que producen la formación de depósitos insolubles de estas sales. Esta acción es realizada igualmente por el hierro. Cuando existe en cantidades apreciables produce en el agua un sabor

desagradable, lo que hace que su presencia sea notada al beber y su acción tóxica más fácilmente evitada (Catalán Lafuente, 1969).

El hierro que está en el agua no se encuentra en la forma en la cual pueda ser absorbida rápidamente por el cuerpo humano, sin embargo, si un suministro local contiene concentraciones muy elevadas podría contribuir en proporción considerable. La ingestión en exceso de Fe puede producir hemosiderosis y hemocromatosis (Jiménez Serrano e Idal Marin, 1994).

El manganeso, al igual que el anterior, es un elemento esencial para los mamíferos. Sólo se absorbe un 3% del ingerido. No obstante, algunos tipos de agua, de forma aislada, pueden contener niveles muy superiores de este elemento, con lo cual contribuyen en la misma proporción que los restantes alimentos a la ingestión de manganeso (A.T.S.D.R., 2000). El aporte de manganeso a partir del agua es sustancialmente menor que a partir de la ingesta de comida (US EPA, 2004).

La Environmental Protection Agency (EPA) a través de Safe Drinking Water Act, ha establecido un nivel de 0,3 mg/L de hierro dentro de los estándares (US EPA, 2003). En este nivel ocurre la decoloración del agua siendo solo un impacto estético, y no teniendo efectos sobre la salud. La EPA propone que la concentración de Mn para el agua potable no debe exceder los 0,05 mg/L. La Food and Drug Administration (FDA) también recomienda 0,05 mg/L de manganeso en agua. EPA ha establecido, además, reglamentaciones para los límites de este elemento que las industrias pueden descargar en los cursos de agua. Por su parte, la Unión Europea (EU) ha establecido para el hierro un valor límite de 0,2 mg/L y el mismo que la EPA para el manganeso.

La Organización Mundial para la Salud (OMS, 2006) considera un valor límite provisional para el manganeso de 0,5 mg/L. Esta guía es provisional ya que existe alguna evidencia de riesgo potencial, pero la información sobre los efectos en la salud son limitados. No contempla valores límites para el contenido de hierro.

En Código Alimentario Argentino (CAA) mantiene sus estándares en 0,3 mg/L para hierro y 0,10 mg/L para manganeso. El contenido de hierro que se maneja es el mismo que la EPA, pero el manganeso tolera el doble que las reglamentaciones internacionales. (Tabla 7.4).

	OMS	US EPA	EU	CAA
Hierro	No contempla	0,30 mg/L	0,20 mg/L	0,30 mg/L
Manganeso	0,50 mg/L	0,05 mg/L	0,05 mg/L	0,10 mg/L

Tabla 7.4. Valores comparativos de hierro y manganeso según diferentes normativas

El hierro, que fue analizado en 1976 y 2006, presenta en ambos casos tenores elevados. El manganeso, determinado en 2006, muestra sectores importantes que sobrepasan los límites aceptables. En los mapas de isocontenidos, se consideraron los límites establecidos por el Código Alimentario Argentino (CAA).

En la Figura 7.7 se observa que una parte del área de estudio presenta tenores de hierro y manganeso superiores a los valores aceptables. Si se consideran los standards internacionales, especialmente para el manganeso, el área que excede los límites admisibles sería mayor.

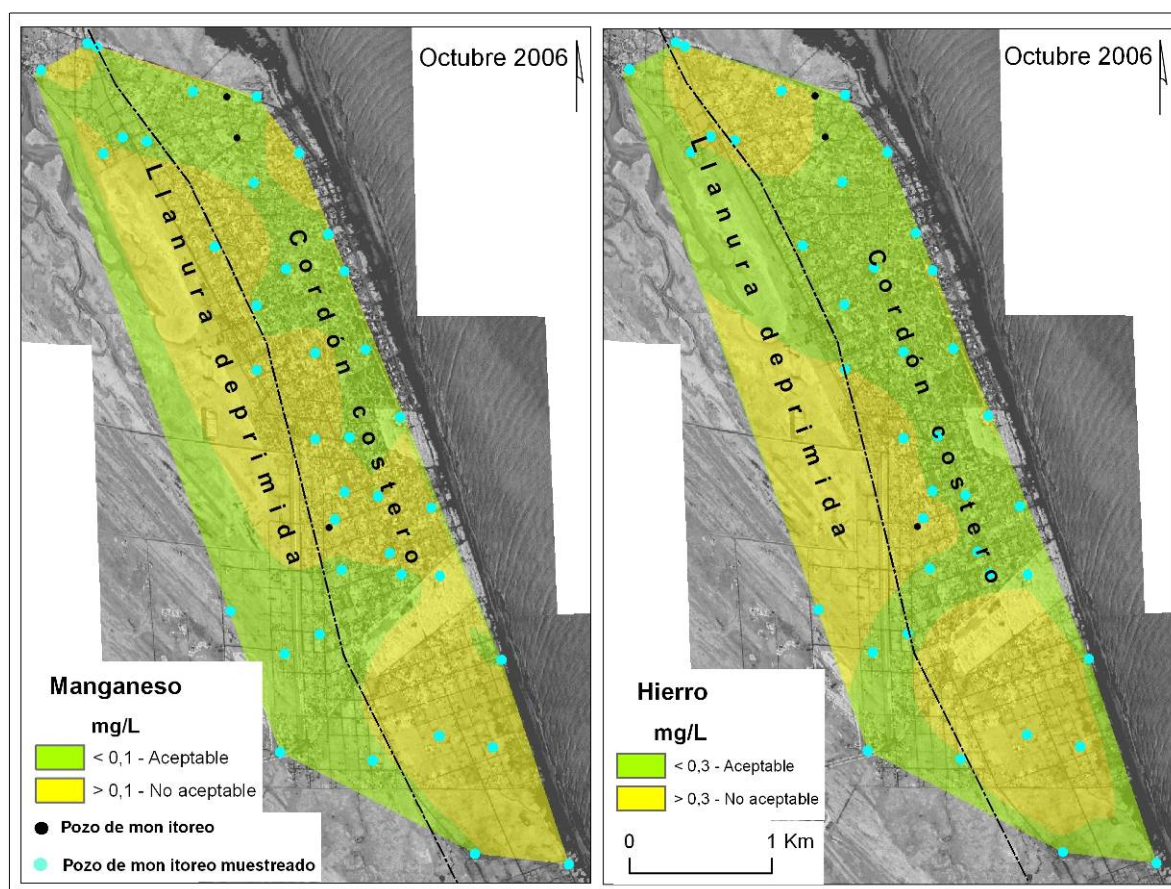


Figura 7.7. Mapa de isocontenidos de hierro y manganeso según el CAA.

Los valores altos de manganeso poseen una distribución areal mayor que el hierro sobre el cordón costero. En el sector de la llanura deprimida, las zonas con un alto valor en hierro son mayores que los sectores con manganeso elevado.

7.3. Caracterización isotópica

A continuación se describirán algunos aspectos teóricos referentes a los isótopos de oxígeno e hidrógeno que ayudaron a una mejor interpretación de los datos.

7.3.1. Isótopos estables Oxígeno y Deuterio, generalidades.

Tanto el hidrógeno como el oxígeno representan un conjunto de isótopos, cuyas variaciones en el agua natural son la base para su aplicación metodológica en hidrología y son utilizados ampliamente en esta disciplina. (Levin et al., 1988; Panarello et al., 1993; Gat, 1995; Dapeña y Panarello, 2004; Lavrushin et al., 2005; Vitòria et al., 2005; Sukhija, 2006; Grassa et al., 2006; Lu et al., 2006; Mayo et al., 2007; Lu et al., 2008; Quiroz Londoño et al., 2008; Azzaz et al., 2008; Carol et al., 2009a; Trabelsi et al., 2009)

El hidrógeno, cuyo isótopo de masa 1 es el protio (^1H), aparece en la hidrosfera con una masa de 99.985%, y está acompañado del 0,015% del isótopo pesado ^2H o deuterio. Incluso existe un isótopo mas pesado, de masa 3, denominado tritio ^3H , es inestable y presenta un decaimiento β con una vida media de 12,32 años. Debido a que ese valor es compatible con el tiempo de permanencia de muchos reservorios subterráneos, es ampliamente utilizado en estudios hidrogeológicos.

Los isótopos radiactivos ^{14}O , ^{15}O , ^{19}O y ^{20}O tienen vidas medias de segundos, por lo tanto no son significativos en este tipo de análisis. Sin embargo tres de los isótopos estables del oxígeno ^{16}O , ^{17}O y ^{18}O cuya abundancia es de 99,7590 %, 0,037% y 0,20 % respectivamente, son importantes en isotopía aplicada a la hidrogeología (Gat, 2005).

La especie molecular mas abundante del agua esta formada por dos átomos de protio y un átomo de oxígeno de masa 16 ($^1\text{H}^1\text{H}^{16}\text{O}$). Además existen otras especies más pesadas que incorporan un átomo de deuterio (^2H) o de oxígeno 18 (^{18}O).

La abundancia absoluta de los isótopos estables no se mide en agua u otros compuestos naturales. Solamente se determina la diferencia relativa en la relación entre el isótopo pesado (generalmente el menos abundante) respecto del liviano (generalmente el mas abundante) de la muestra respecto a una referencia. Esa diferencia se designa con la letra δ y se expresa en ‰, definiéndose como:

$$\delta\text{‰} = \frac{R_M - R_R}{R_R} \cdot 1000$$

Donde δ , es la desviación isotópica en partes por mil; R , es la relación isotópica ($^2\text{H}/^1\text{H}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$); M , muestra; R , referencia internacional.

De esta manera se desprende que un valor positivo de $\delta^{18}\text{O}$ ó de $\delta^2\text{H}$ significa que en contenido de ^{18}O o ^2H de la muestra es mayor que el del patrón resultando una muestra enriquecida en isótopos pesados, y un valor negativo indica lo contrario, siendo una muestra empobrecida.

El valor standard aceptado para los isótopos en el agua es el VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water), el cual es similar al valor standard original SMOW definido por Craig (1961). Siendo R la abundancia para las especies isotópicas, por ejemplo. $^2\text{H}/^1\text{H}$ o $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, se tiene que $^2R_{\text{VSMOW}} = (155.75 \pm 0.05) \times 10^{-6}$

Aplicado al sistema deuterio-hidrógeno, ($^2\text{H}-^1\text{H}$), la notación puede ser $^2\delta$, $\delta^2\text{H}$ ó D ; y para el ^{18}O la notación es $^{18}\delta$, $\delta^{18}\text{O}$ u oxígeno-18.

En el ciclo hidrológico, los rangos de valores pueden encontrarse entre - 450‰ < $^2\delta$ < +100‰ y - 50‰ < $^{18}\delta$ < +50. La composición estimada del agua primordial (juvenil) es $^2\delta_{\text{VSMOW}} = \sim -60\text{‰}$ y $^{18}\delta_{\text{VSMOW}} = \sim +5\text{‰}$. Esto difiere de los valores de la atmósfera actual, debido, por un lado, a la pérdida preferencial de ^1H relativo a ^2H en la atmósfera exterior en el lapso de la escala geológica, y por el otro, de la remoción del oxígeno enriquecido en la columna sedimentaria, en particular en carbonatos (Gat et al., 2000).

Los procesos que llevan al fraccionamiento isotópico natural del hidrógeno y del oxígeno del agua, se producen fundamentalmente en la evaporación y condensación, aunque también pueden colaborar con menor intensidad otros fenómenos de tipo de difusión térmica, biológicos, etc. (Custodio y Llamas, 1976). Existen diversos factores que influyen en el contenido de deuterio y oxígeno-18:

- Distancia al mar: el vapor generado tiene δ ligeramente negativo ($\delta \sim -10\text{‰}$) y va disminuyendo a medida que penetra en las áreas continentales. La lluvia generada es tanto más ligera (menor δ) cuando más lejos del mar.
- Temperatura: en zonas frías se produce un vapor más ligero (menor δ) que en las zonas más calidas, aunque existe una notable dependencia de las situaciones y de las condiciones climáticas locales. El valor medio de $\delta^{18}\text{O}$ varía según $\delta^{18}\text{‰} = 0,7 t_a (\text{° C}) - 13,9$ (Dansgaard, 1964) siendo t_a la temperatura media anual, lo que conduce a una disminución de $0,5\text{‰}$ /grado de latitud, con notables excepciones.
- Altitud: la disminución de la temperatura con la altitud hace que en una cierta región la lluvia de zonas topográficamente más altas sea más ligera que en las zonas más bajas. En condiciones geográficas apropiadas se puede llegar a establecer una relación entre la composición isotópica y la altitud.
- Intercambio isotópico durante la precipitación: en regiones húmedas las gotas de lluvia pueden sufrir un intercambio isotópico con la humedad ambiental si su composición isotópica es diferente. Este efecto solo tiene importancia en lluvias de pequeña intensidad o en los primeros momentos de lluvias intensas y no afecta la precipitación nival.

La relación $\delta^2\text{H} / \delta^{18}\text{O}$ se estudia mediante un gráfico en el que se representan los valores de $\delta^{18}\text{O}$ en función de los correspondientes a $\delta^2\text{H}$. Este análisis se basa en que en una evaporación en condiciones de equilibrio la relación $\delta^2\text{H} / \delta^{18}\text{O} = 8$ de modo que los puntos representativos quedan sobre una línea cuya expresión para el agua de lluvia es $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$, estando δ en ‰ VSMOW. Ésta se denomina Línea Meteorica Mundial (LMM) o Global Meteoric Water Line (GMWL) en sus siglas en inglés. Los valores obtenidos varían desde -1 y -26 para el $\delta^{18}\text{O}$ y entre 0 y -18 para el $\delta^2\text{H}$. Para los valores mayores que cero, la pendiente tiende a disminuir. Cuando se produce la evaporación de aguas superficiales, en general no se está en condiciones de equilibrio dinámico y el agua residual se enriquece en $\delta^{18}\text{O}$ más que en deuterio, así, los puntos representativos de la composición isotópica formarán una recta cuya pendiente está entre 4 y 6 en el caso de intensa evaporación.

7.3.2. Aporte de deuterio y oxígeno a las aguas subterráneas

Cuando el terreno es muy permeable, el agua de lluvia pasa muy rápidamente a zonas en las que no actúa la evaporación y la poca agua que queda en la superficie evapora totalmente, de ese modo no existe alteración isotópica importante.

La composición isotópica del agua subterránea en climas templados refleja con una buena aproximación la composición isotópica media de la precipitación de una localidad (Gat y Tzur, 1967). Por otro lado, cuando la precipitación alcanza la superficie del suelo, puede modificarse por evaporación o mezcla de aguas de distinta composición (Gat, 1983) Estas modificaciones dependen de la permeabilidad de los materiales del suelo y del tiempo de permanencia del agua en la superficie.

Si la permeabilidad es alta la infiltración es rápida y la composición isotópica del agua infiltrada puede ser idéntica o similar a la de las precipitaciones, si ocurre lo contrario, se evapora previamente y se infiltra un agua más pesada.

En general, salvo en zonas desérticas, a profundidades mayores a 3 o 4 metros el agua deja de estar sometida a evaporación y su composición isotópica se mantiene constante. También puede ocurrir que se produzcan mezclas con aguas de distintas procedencias, y en el caso de aguas sometidas a altas temperaturas, puede modificarse debido al intercambio isotópico entre el oxígeno del agua y el de las rocas.

En lugares con abundante vegetación el agua es devuelta parcialmente a la atmósfera por evaporación, pero ello no supone un fraccionamiento importante ya que las plantas toman el agua del suelo casi sin alteración isotópica y la evaporan totalmente

El efecto mas importante es la infiltración preferencial en diferentes épocas el año, ya que en otoño-invierno la composición isotópica media del agua recargada es, en general, algo más ligera que la media de la lluvia anual. Esto se acentúa en climas semiáridos, ya que los húmedos pueden permanecer indiferentes a este fenómeno. En zonas muy frías la recarga puede desplazarse al verano produciéndose un enriquecimiento.

En lugares con muy escasa vegetación puede existir una evaporación directa del agua retenida en el suelo dando lugar a un enriquecimiento isotópico que se transmite al acuífero cuando el agua infiltra hasta el mismo. El intercambio con arcillas es en general pequeño y alcanza pronto el estado de equilibrio.

A partir de este análisis se puede identificar el área de recarga. En zonas áridas se pueden encontrar aguas subterráneas más livianas que las de la lluvia en cualquier zona de recarga, esto sugiere que se trata de aguas antiguas infiltradas en una época más lluviosa, por ejemplo, del último periodo pluvio-glacial.

En acuíferos recargados por ríos, lagos, embalses o canales, se produce la influencia de los mismos, y la composición isotópica puede variar notablemente, en general aumentando los valores de $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$.

En ambientes marinos o costeros, donde la precipitación es el primer condensado, los puntos muestreados se distribuyen en el diagrama $\delta^2\text{H}$ vs $\delta^{18}\text{O}$ en un círculo o elipsoide a lo largo de la línea meteórica local. En algunas circunstancias, especialmente en zonas relativamente áridas, la evaporación de las gotas que caen dictan el curso de la línea, la cual recuerda a la Línea de Evaporación de las aguas superficiales (Gat, 2005 op.cit.).

7.3.3. Isótopos Estables (Deuterio y Oxígeno-18) en el acuífero costero de San Clemente del Tuyú

Los resultados de ^{18}O y ^2H se presentan en la Tabla 7.5 para el muestreo de julio de 2009. La composición isotópica de las aguas subterráneas se encuentra en un rango de -12,5‰ a -4,3‰ en $\delta^{18}\text{O}$ y -94‰ a -21‰ en $\delta^2\text{H}$.

Muestra Pozo	Ambiente	$\delta^{18}\text{O}$ ‰ (VSMOW) ± 0.3	$\delta^2\text{H}$ ‰ (VSMOW) ± 1	TSD (mg/L)	Cl (mg/L)	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
1	Oeste del médano	-4,5	-27	7580	3061	10770
6		-5,7	-35	1850	482	2550
12		-4,8	-30	9251	3422	12530
20		-10,4	-70	7790	2926	10760
3	Centro del médano	-5,0	-29	543	38	770
5		-5,3	-30	776	123	1113
43		-5,2	-30	817	90	130
23		-5,9	-36	1088	94	1515
24		-5,7	-32	494	22	714
38		-4,6	-25	1167	160	1623
41		-5,3	-30	1230	270	1777
4	Este del médano	-4,3	-21	424	29	605
10		-12,5	-94	330	30	459
25		-5,3	-30	469	67	680
33		-5,4	-31	451	41	652
39		-6,8	-39	415	27	589

Tabla 7.5. Análisis isotópicos, sólidos disueltos totales (TSD), Cloruros (Cl) y conductividad del muestreo julio de 2009.

En las Figuras 7.8 y 7.9 se observa a las muestras ordenadas de acuerdo a su ubicación en la morfología del médano. De esta manera los pozos localizados al oeste tienen en su mayoría valores de $\delta^{18}\text{O}$ entre $-5,7\text{‰}$ a $-4,5\text{‰}$ y de -35‰ a -27‰ para el $\delta^2\text{H}$. El pozo 20 tiene una composición isotópica muy empobrecida en relación a las otras con valores de $\delta^{18}\text{O} = -10,4\text{‰}$ y $\delta^2\text{H} = -70\text{‰}$. El área en el centro del médano presenta valores de $-5,9\text{‰}$ a $-4,6\text{‰}$ a en $\delta^{18}\text{O}$ y de -36‰ a -29‰ en $\delta^2\text{H}$.

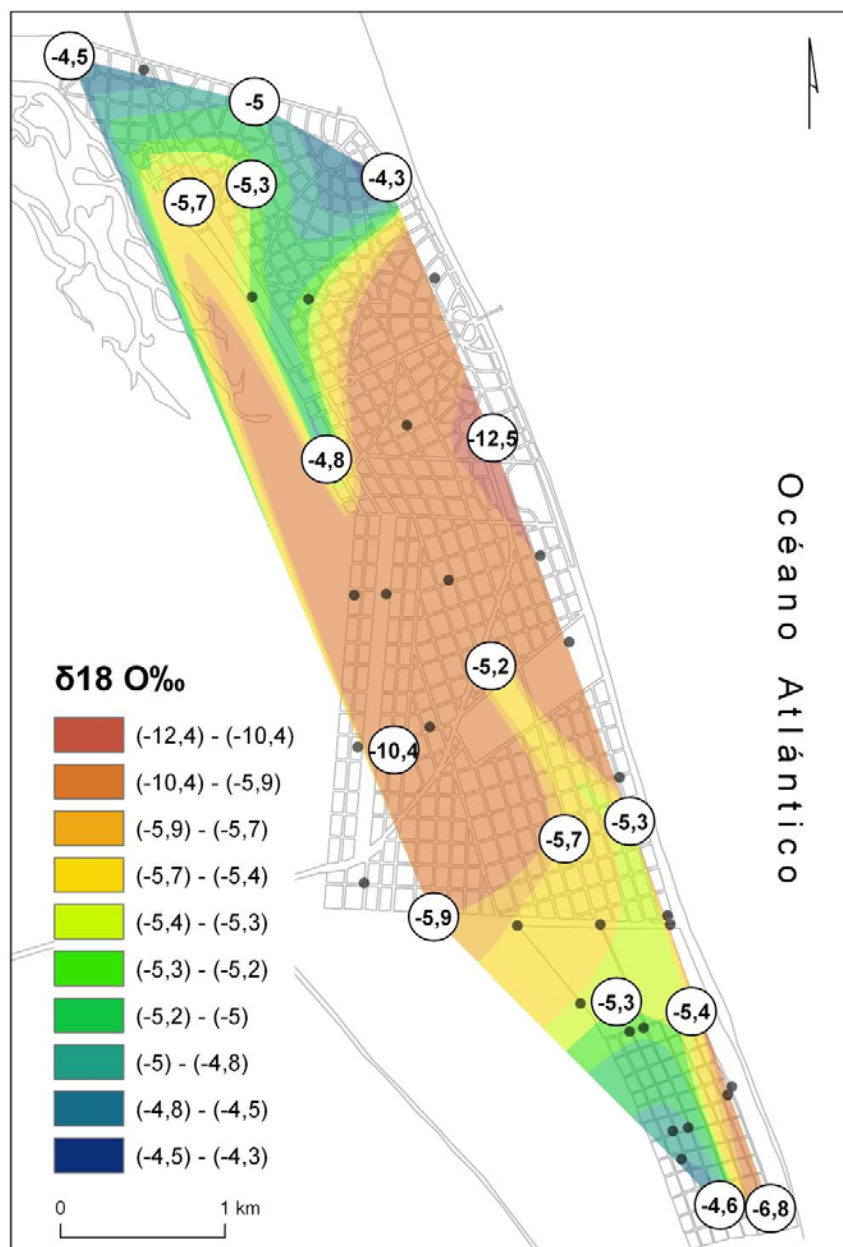


Figura 7.8. Distribución de los valores de $\delta^{18}\text{O} \text{‰}$ (julio 2009)

Para el agua subterránea del sector este, el $\delta^{18}\text{O}$ varía entre $-6,8\text{‰}$ y $-4,3\text{‰}$ y mientras que el $\delta^2\text{H}$ lo hace entre -39‰ y -21‰ , a excepción del pozo 10 con valores de $-12,5\text{‰}$ y -94‰ para $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$, respectivamente.

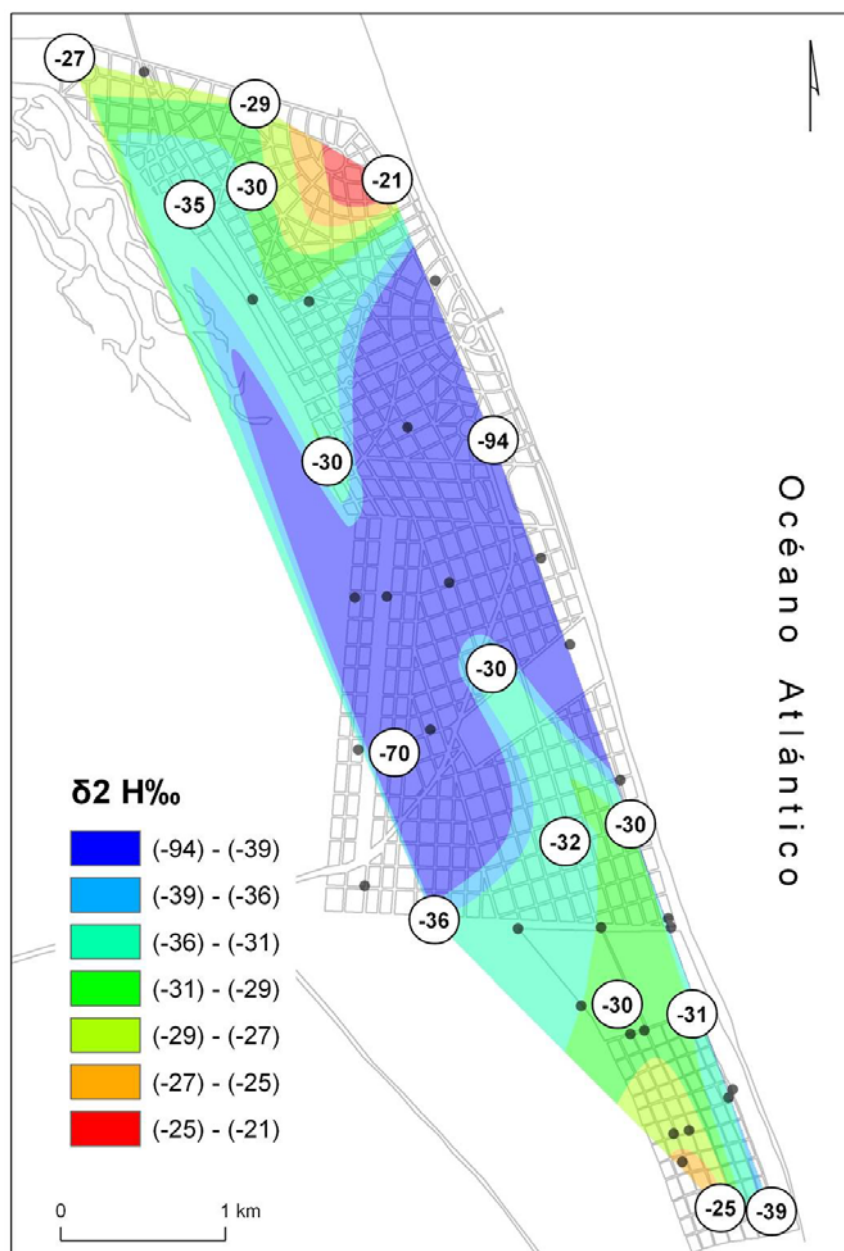


Figura 7.9. Distribución de los valores de $\delta^2\text{H} \text{‰}$ (julio 2009).

Los análisis isotópicos se representaron en un diagrama convencional $\delta^{18}\text{O}$ vs. $\delta^2\text{H}$ junto a la línea meteórica local definida por Dapeña (2007) a partir de las estaciones Ciudad Universitaria (Ciudad de Buenos Aires), período 1979-2003 y Estación Azul (Ciudad de Azul, provincia de Buenos Aires), período 1998-2003, *i.e.*: $\delta^2\text{H}\text{‰}=8 \delta^{18}\text{O}\text{‰}+12/14$ (Figura 7.10). Las muestras de San Clemente están

comprendidas por éstas líneas, indicando su origen meteórico. En general, la composición isotópica del agua subterránea obtenida para el primer muestreo responde la composición isotópica promedio del agua de lluvia confirmando lo establecido Gat y Tzur (1967) para climas templados y analizado por Panarello (1993) para este sector de la costa bonaerense. Sin embargo, en algunos pozos (pozos 10 y 20) se observa una composición más empobrecida que probablemente responde a fenómenos de infiltración preferenciales de precipitaciones.

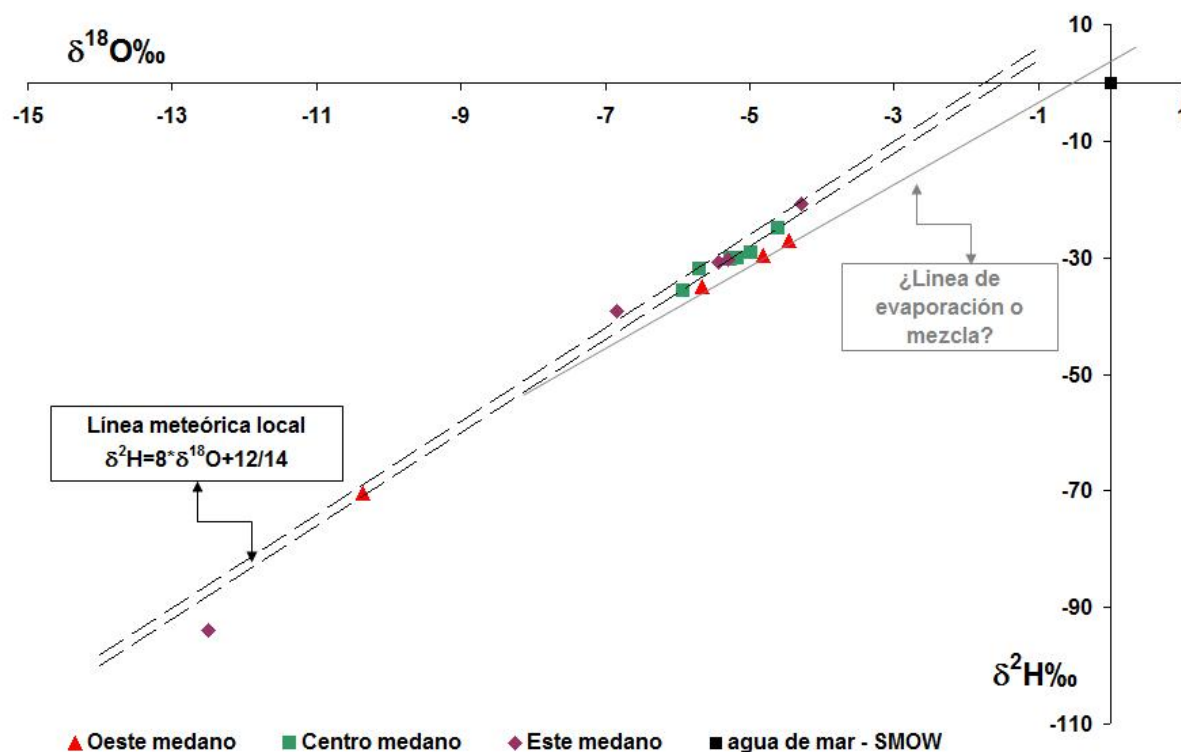


Figura 7.10. Gráfico $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$ (julio 2009)

Por otro lado, puede observarse que las muestras recolectadas en el sector oeste del médano sufren una pequeña desviación. Éste fenómeno puede ser producido tanto por evaporación y mezcla entre el agua dulce y salada (Gonfiantini y Araguás, 1988; Geyh, 2000). En este caso, podría ser debido a mezcla con agua somera de los canales de marea y subterránea salobre de la llanura deprimida. Para corroborar este supuesto sería necesario contar con una muestra de dicho ambiente. De todas maneras en el gráfico $\delta^2\text{H}\text{‰}$ vs cloruros (Figura 7.11) se infiere una posible zona de mezcla que se corresponde con los parámetros químicos de conductividad y TSD (Tabla 7.5). En el caso de la muestra del pozo 20 su elevado contenido de cloruros probablemente se relaciona al contacto con sedimentos marinos. El agua subterránea al este del médano, donde se debe situar la interfase agua dulce - agua

salada marina, no presenta signos de mezcla, indicando en ese caso que no hay manifestación de un proceso de intrusión salina, lo cual puede ser detectado a partir de esta metodología (Mazor, 1976; Figini et al., 1983, Gattacceca et al., 2009; Carol et al., 2009b)

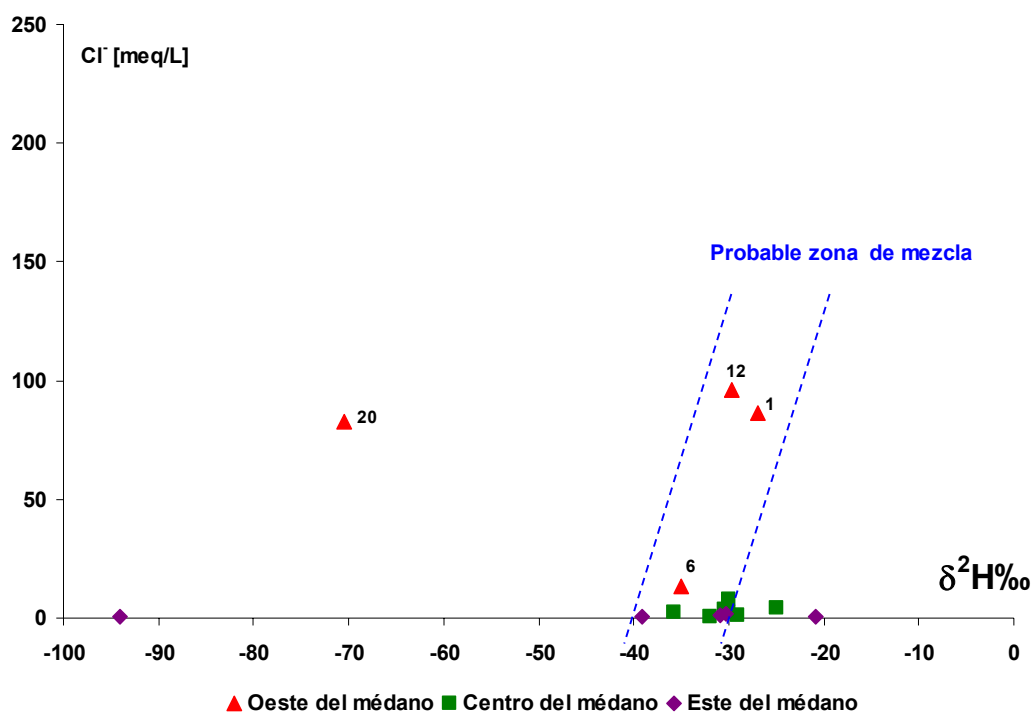


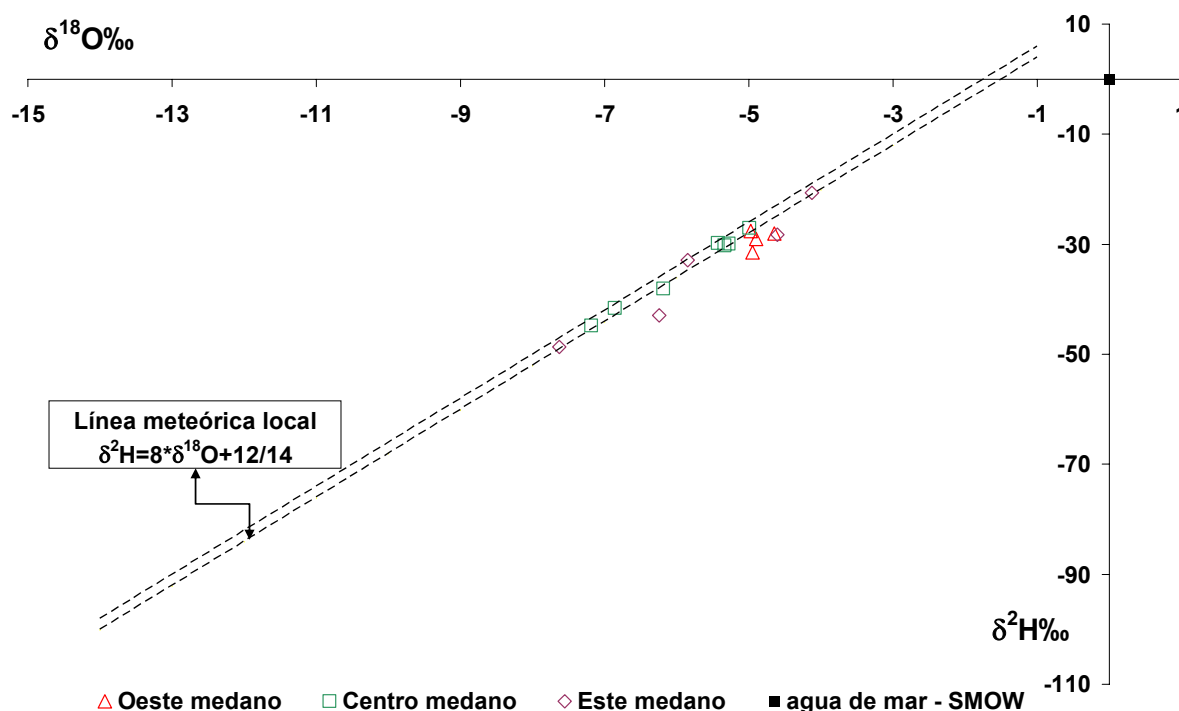
Figura 7.11. Gráfico $\delta^2\text{H}\text{‰}$ vs cloruros (julio, 2009)

Se siguieron los mismos procedimientos para analizar el segundo muestreo, de abril de 2010. Los resultados de oxígeno-18 y deuterio se presentan en la Tabla 7.6. En este caso la composición isotópica de las aguas subterráneas se encuentra en un rango de -7,6‰ a -4,1‰ en $\delta^{18}\text{O}$ y -49‰ a -21‰ en $\delta^2\text{H}$.

Muestra Pozo	Ambiente	$\delta^{18}\text{O} \text{‰}$ (VSMOW) ± 0.3	$\delta^2\text{H} \text{‰}$ (VSMOW) ± 1	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)
1	Oeste del médano	-4,9	-29	8330
6		-5,0	-28	3030
12		-5,0	-32	12650
20		-4,7	-28	10850
3	Centro del médano	-5,3	-30	894
5		-5,4	-30	715
31		-6,9	-42	533
23		-7,2	-45	3080
24		-5,0	-27	681
38		-5,3	-30	1317
41		-6,2	-38	1130
4	Este del médano	-6,2	-43	915
10		-4,6	-28	757
33		-5,8	-33	716
39		-4,1	-21	831
9		-7,6	-49	851

Tabla 7.6. Parámetros utilizados para el análisis isotópico del muestreo abril de 2010.

Los análisis isotópicos se representaron en un diagrama convencional $\delta^{18}\text{O}$ vs. $\delta^2\text{H}$ junto a la línea meteórica local (Figura 7.12), observándose nuevamente el origen meteórico de las aguas subterráneas. En este caso, las muestras ubicadas en el sector oeste de médano no parecen mostrar la desviación que se observó en el muestreo previo donde se indicaba una posible mezcla con el agua salobre de la llanura deprimida.



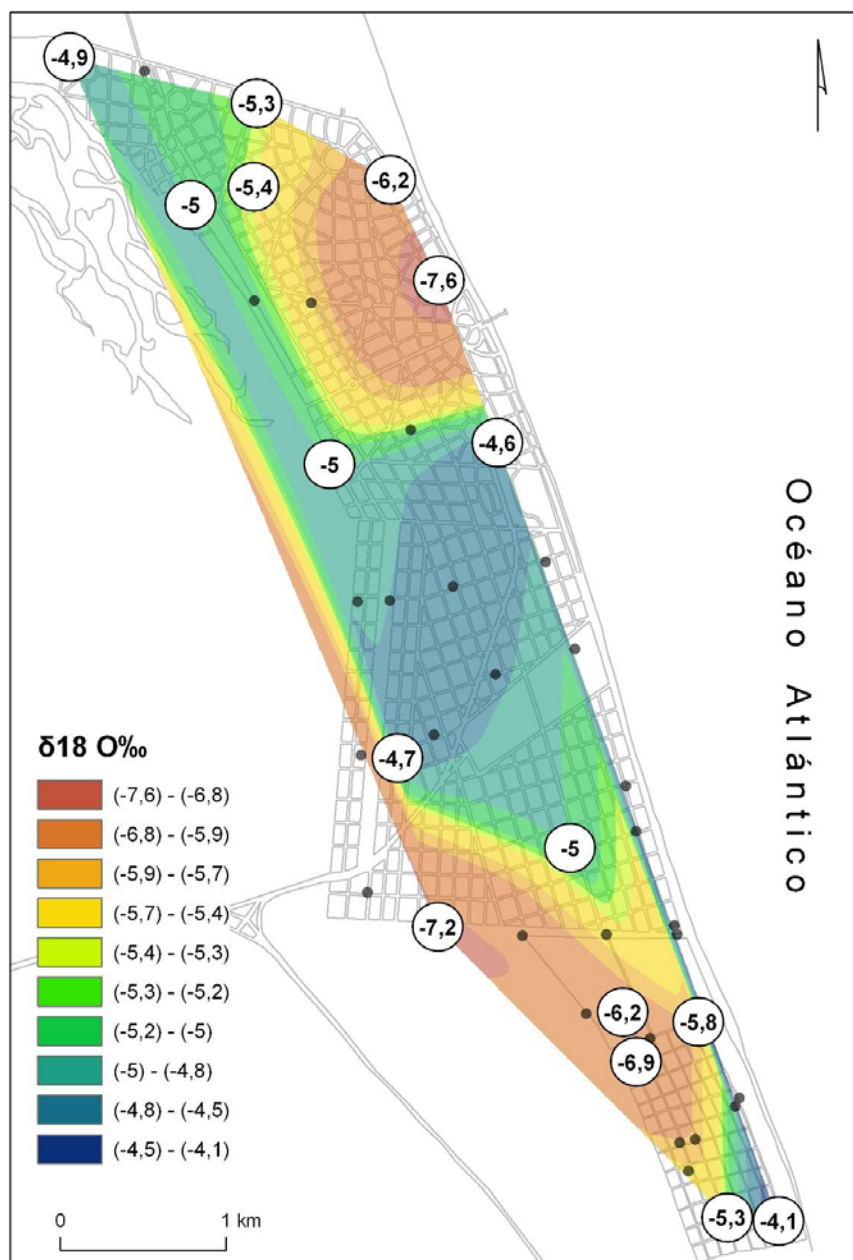


Figura 7.13. Distribución de los valores de $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ (abril 2010)

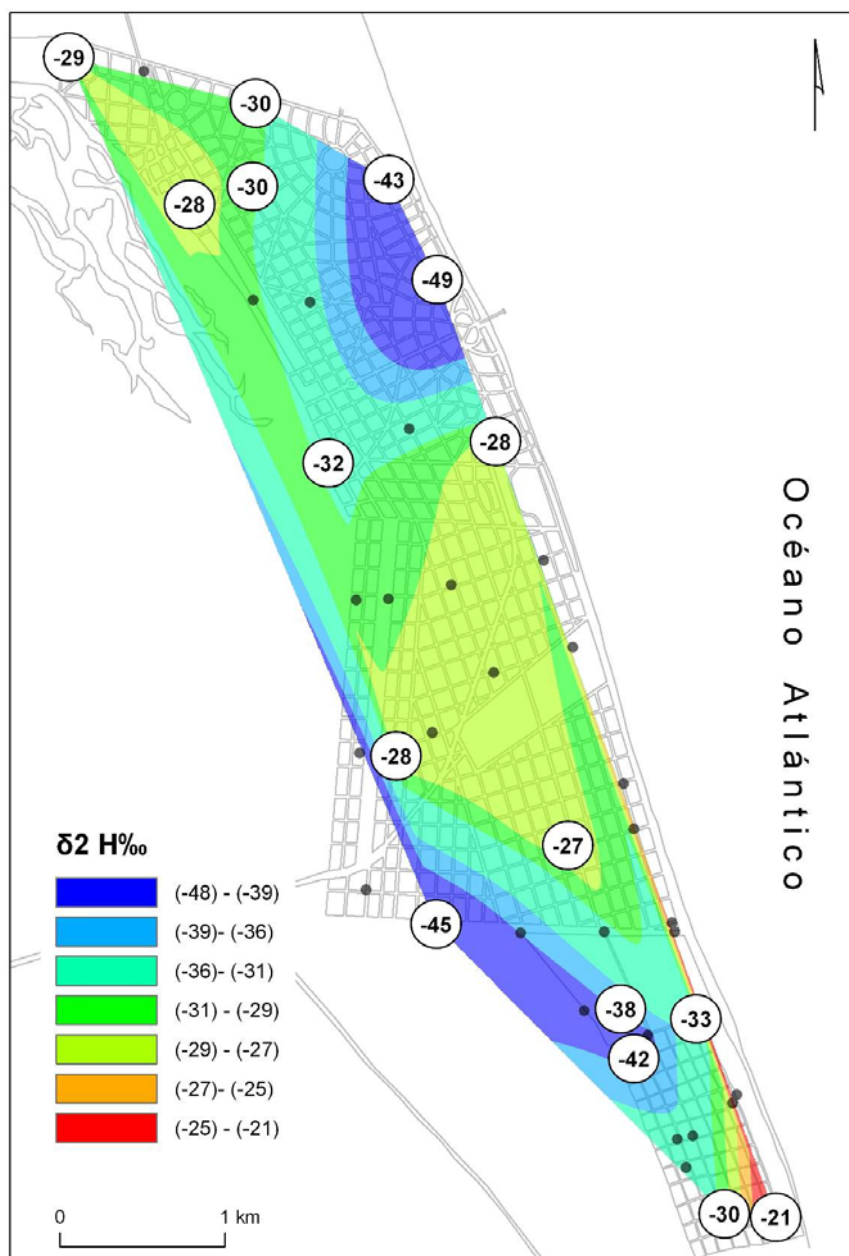


Figura 7.14. Distribución de los valores de $\delta^2\text{H}\text{‰}$. (abril 2010)

Adicionalmente se graficó la composición isotópica de los dos muestreos junto a las lluvias individuales pertenecientes a la Estación Mar del Plata (C.G.C.y C.) (INGEIS, 2009, IAEA/WMO, 2002) (Figura 7.15). Esta estación se ubica relativamente cerca del área de estudio pero no tiene registro suficiente para elaborar una recta meteórica. Sin embargo a partir de la composición isotópica de las lluvias mensuales individuales se pueden explicar los valores empobrecidos de algunas de las muestras, ya que como se observa, existen lluvias que abarcan un amplio espectro de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$, pudiéndose reconocer casos de precipitaciones con valores empobrecidos.

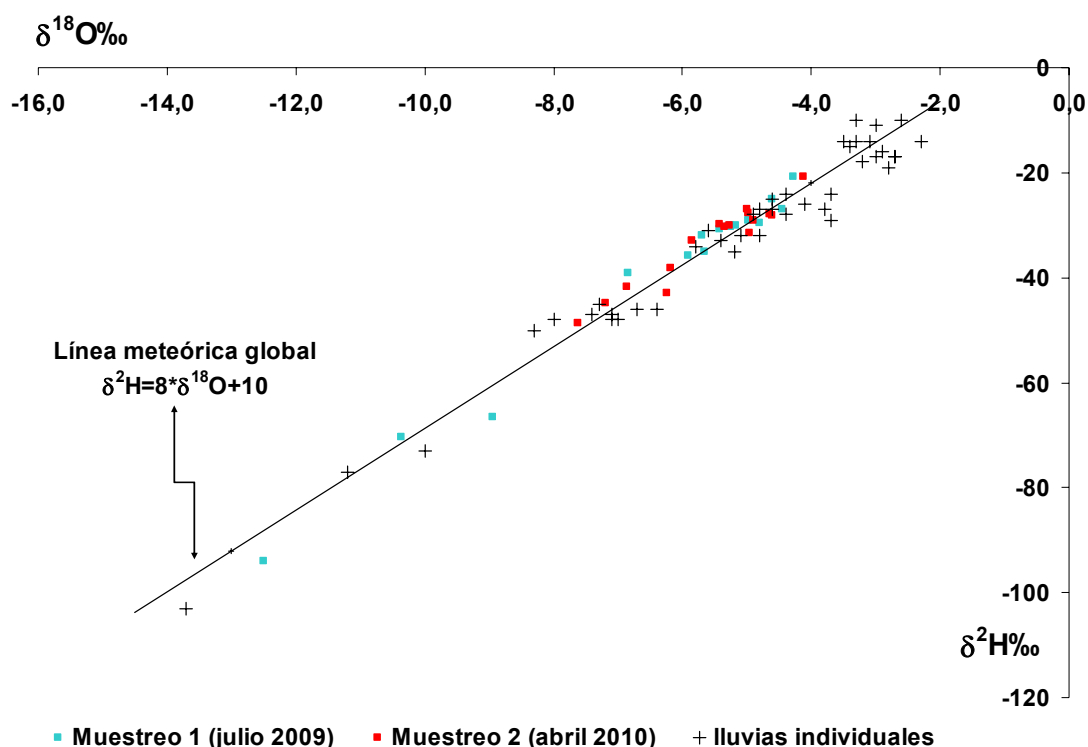


Figura 7.15. Gráfico $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$ para ambos muestreos, juntos a lluvias individuales de la estación Mar del Plata

El análisis de las aguas subterráneas mediante el uso de isótopos estables de oxígeno-18 y deuterio permite identificar dos situaciones: la que muestra una composición isotópica similar al promedio de las precipitaciones y en otra, se exhibe una composición de lluvias individuales muy empobrecidas que se infiltran rápidamente en el sustrato arenoso alcanzando el nivel freático sin modificaciones. Además, esta herramienta combinada con otros parámetros químicos ha posibilitado corroborar que, de momento, no se detecta contaminación por intrusión salina en la interfase agua dulce-agua salada marina al este del médano. También se ha podido comprobar la mezcla del agua dulce freática con el agua salobre de la llanura deprimida al oeste de la localidad.

Por otra parte, las diferencias entre los resultados de los muestreos sugieren que se trata de un sistema dinámico, en donde el agua subterránea refleja la importancia de la recarga en el médano y a su vez, la variabilidad en las precipitaciones de la región.

De acuerdo a los resultados obtenidos, surge la necesidad de conocer la composición isotópica de la lluvia del área, y realizar más muestreos para validar las conclusiones o verificarlas.

8. EXPLOTACION DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El abastecimiento de agua potable a la localidad se realiza a partir de un campo de bombeo (Figura 8.1) situado hacia el sur, fuera de la zona urbanizada. La explotación se realiza a través de un sistema de pozos Ranney y un sistema Wellpoint ubicados en el cordón costero, cuya expresión morfológica se desarrolla entre 0,5 a 3.5 m s.n.m.

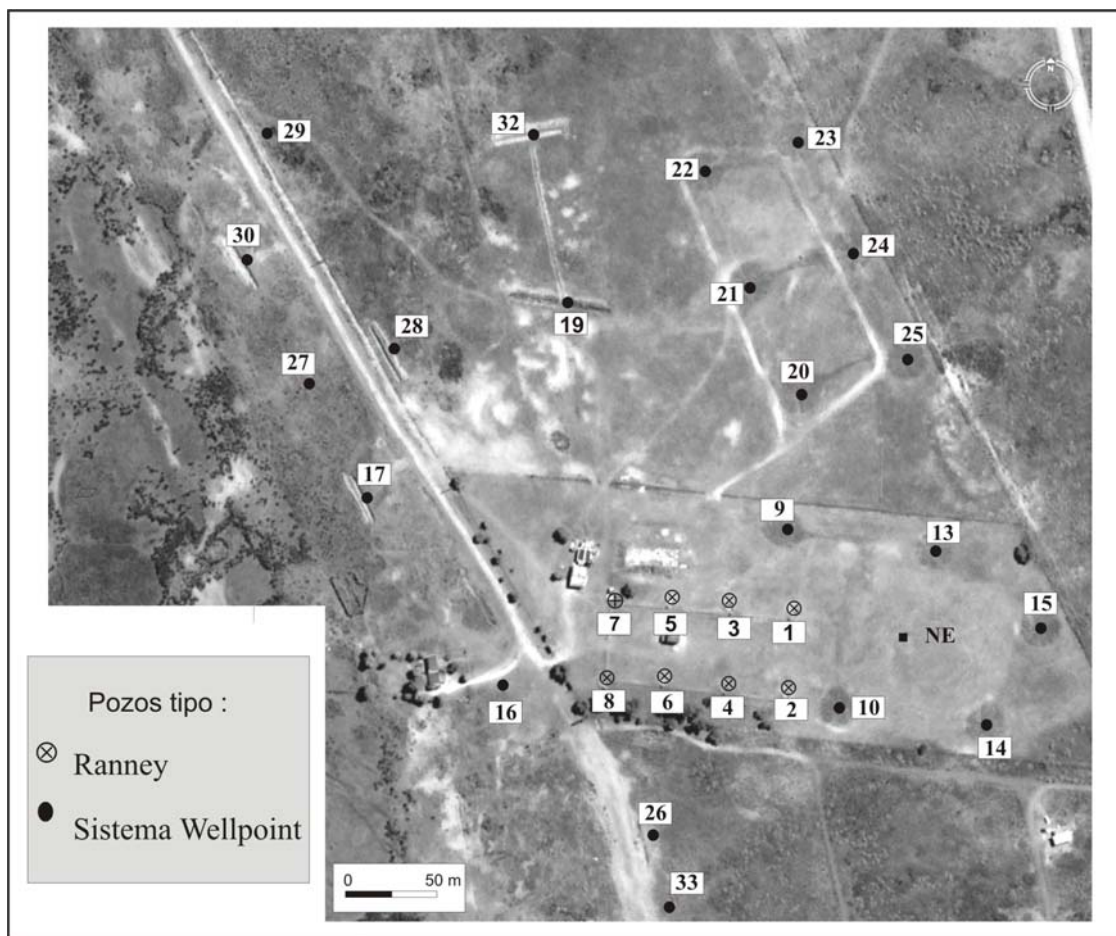


Figura 8.1. Distribución de los pozos en el campo de explotación

Los 7 pozos con drenes horizontales o tipo Ranney (caudal 7 m³/h) (Figura 8.2) constan de un pozo de paredes impermeables, de 4 m de diámetro, excavado hasta 8 m de profundidad, de donde se extienden radialmente una serie de cuatro filtros laterales ubicados a 4 m de profundidad. Estos drenes horizontales de 2" de diámetro tienen 4 y 6 m de largo. Los filtros de 4 m están orientados E-O y los de 6 m N-S, siguiendo la morfología del médano. El prefiltro de grava presenta una granulometría

de 0,75 mm y un espesor de 5 cm. La distancia entre los pozos es de 25 m y no se han detectados fenómenos de interferencia, ya que se operan alternadamente.



Figura 8.2. Pozo tipo Ranney

Por otro lado existen sistemas Wellpoint que consisten en 21 equipos de bombeo cada uno de ellos compuesto de 10 pozos verticales dispuestos de manera radial (caudal $13 \text{ m}^3/\text{h}$) (Figura 8.3) La profundidad de extracción oscila entre 4 y 6 m. Este tipo de pozos puntuales, son pozos de pequeño diámetro, de poca profundidad y están conectados entre sí mediante una conducción común que efectúa la aspiración



Figura 8.3. Sistema Wellpoint

En la Tabla 8.1 puede observarse las características técnicas de cada perforación.

Tipo	n°	Descripcion	Q extracción (m ³ /h)
Ranney	1 al 8	bombas EGIAS modelo AC 22	8
Sistema Wellpoint	9	bombas DAB 1 HP modelo K 12/200. Punteras de 6 m aprox. 10 filtros Johnson 1,5" ranurados. 10 por equipo, total 50 filtros	7
	10		
	13		
	14		
	15		
	16	Bombas EGIA mod AC 33. 10 filtros a 4 m. filtros comunes malla de bronce	11
	17	Bombas EGIA mod AC 33. 10 filtros a 4 m. filtros comunes malla de bronce	14
	18	Bombas EGIA mod AC 33. 16 filtros a 4 m. filtros Johnson 1 1/4", ranurados	11
	19	Bombas EGIA mod AC 33. 10 filtros a 4 m. filtros comunes	14
	20	Bombas DAB 4 HP mod K 18/500T. 10 filtros a 4 m. filtros Johnson 2"	12
	21	Bomba Pedrollo mod HF/SAM. 10 filtros a 4 m. filtros Johnson 2"	10
	22	Bombas DAB 4 HP mod K 18/500T. 10 filtros a 4 m. filtros Johnson 2"	12
	23	Bombas DAB 4 HP mod K 18/500T. 10 filtros a 4 m. filtros Johnson 2"	12
	24	Bomba Pedrollo mod HF/SAM. 10 filtros a 4 m. filtros Johnson 2"	10
	25	Bombas DAB 4 HP mod K 18/500T. 10 filtros a 4 m. filtros Johnson 2"	12
	26	Bombas EGIA mod AC 33. 10 filtros a 4 m. filtros Johnson 1 1/2"	13
	27	Bombas EGIA mod AC 33. 10 filtros a 4 m. filtros comunes 2"	14
	28	Bombas EGIA mod AC 33. 10 filtros a 4 m. filtros comunes 2"	15
	29	Bombas EGIA mod AC 33. 10 filtros a 4 m. filtros comunes 2"	15
	30	Bombas EGIA mod AC 33. 10 filtros a 4 m. filtros comunes 2"	14
	31	Bombas EGIA mod AC 33. 10 filtros a 4 m. filtros comunes 2"	13

Tabla 8.1. Características técnicas de la batería de bombeo

A continuación se describe el proceso de extracción y acondicionamiento del agua extraída para su distribución.

El pozo de la batería 7 colecta el agua obtenida por los demás pozos extractores donde se realiza una mezcla, dos bombas llevan el agua desde el colector a la torre de oxidación. El agua pasa a una canaleta Parshall (se puede controlar el caudal), se agregan los productos químicos del tratamiento, que se componen de cloro, sulfato de aluminio (coagulante), polielectrolitos (coagulante) y soda cáustica. El agua pasa a los decantadores (piletones) por un lapso de 3 horas, tiempo que tarda en decantar el Fe y el Mn. El Fe que queda es retenido por 4 filtros de arena. Luego el agua pasa a una cisterna intermedia de 5 m³ y una bomba la traslada a la cisterna con una capacidad de almacenaje mayor a 500 m³.

La distribución a la red se realiza por medio de un acueducto desde la planta de tratamiento que parte por la Av. III y sigue en línea recta hasta la Av. XV donde se desvía hasta la calle 1, luego Av. I y a la Torre Elevadora (Figura 8.4).

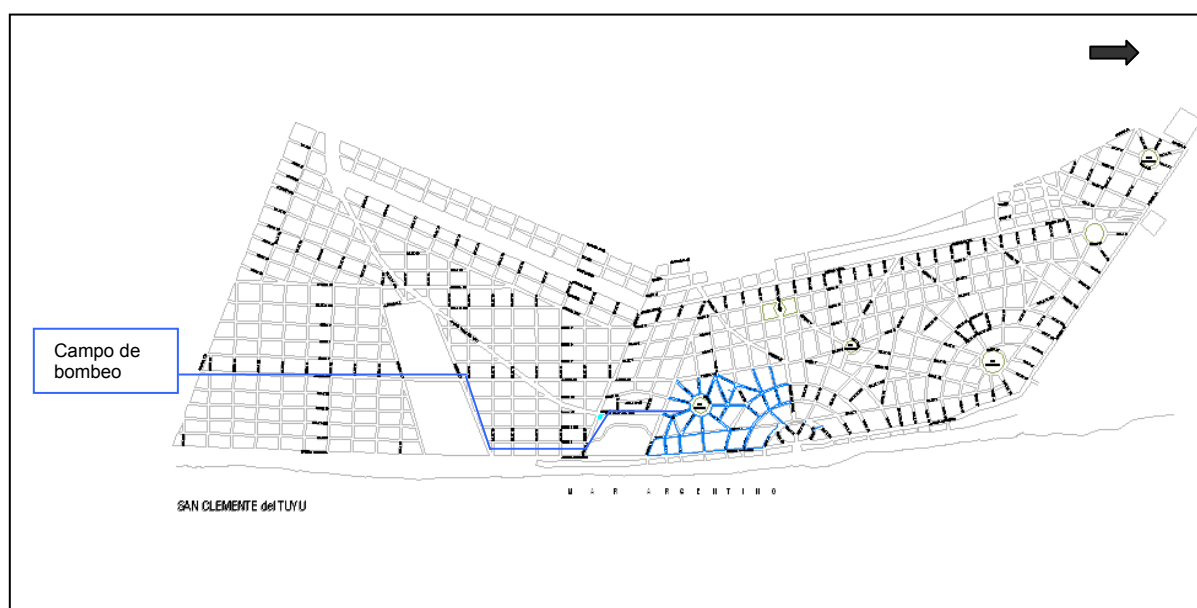


Figura 8.4. Red de distribución de agua potable, en color azul el área abastecida

La extracción anual de agua subterránea es del orden de 0,20 hm³ con una tendencia a aumentar en forma progresiva. (Figura 8.5)

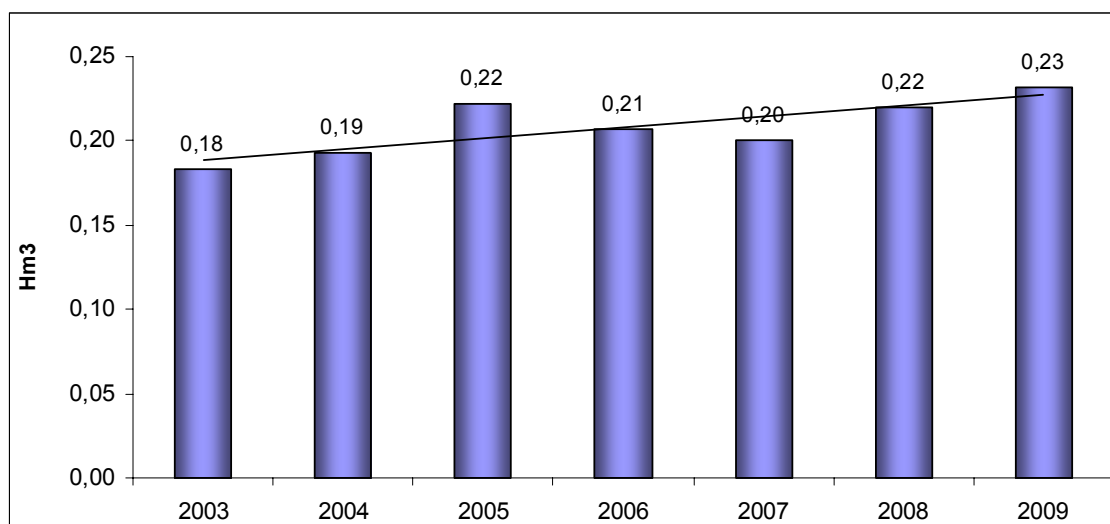


Figura 8.5. Extracción anual

En los periodos estivales se produce la mayor extracción de agua subterránea. Los caudales tienen un máximo en enero y febrero ($1300 \text{ m}^3/\text{d}$) en coincidencia con la mayor afluencia turística. El mínimo es en mayo y junio con valores entre 300 y $350 \text{ m}^3/\text{d}$. El valor medio en los meses restantes está en el rango de 400 a $500 \text{ m}^3/\text{d}$. (Figura 8.6)

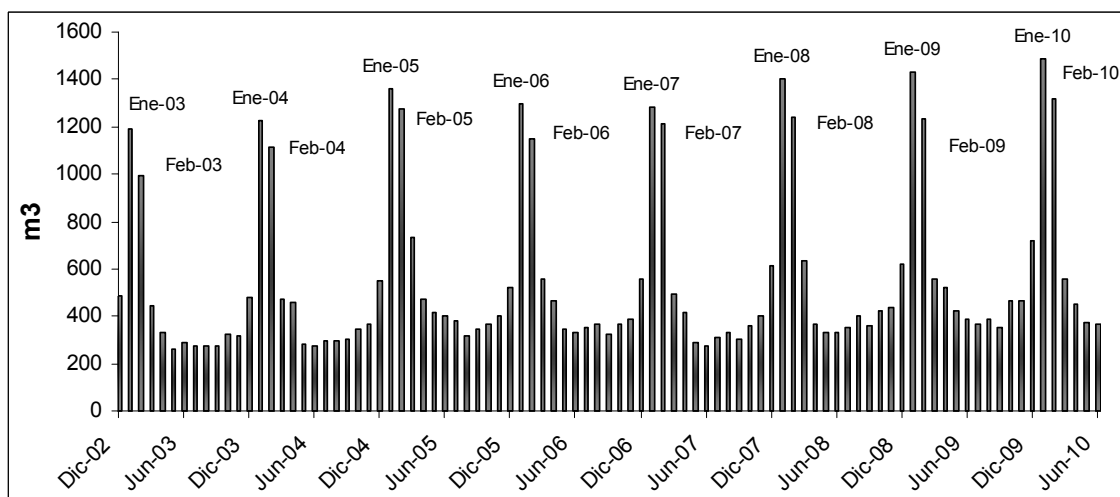


Figura 8.6. Producción media mensual

En octubre de 2006 se realizó una medición de los niveles freáticos en los pozos del campo de bombeo. En ese momento se registraba un régimen permanente con una escasa extracción ya que sólo dos pozos (20 y 25) estaban en funcionamiento extrayendo a bajos caudales ($360 \text{ m}^3/\text{d}$ para la fecha)

Las profundidades de los niveles de aguas subterráneas oscilaban entre 1,58 m y 2,96 m con curvas isofreáticas entre 1 y 1,5 m s.n.m. En la Figura 8.7 se muestra el mapa de flujo subterráneo para esta situación, que manifiesta un cono de depresión de escasa expresión y bajos gradientes hídricos con valores entre 0,0037 y 0,0051.

La configuración de curvas equipotenciales cerradas alrededor del grupo de pozos posibilita la estimación de la transmisividad del acuífero, a partir de la expresión $Q = T \cdot m \cdot i$, donde Q es el caudal, T la transmisividad e i el gradiente hídrico.

Se ha estimado una T de $101 \text{ m}^2/\text{d}$, utilizando el caudal medio extraído en esa fecha. Este valor se encuentra dentro de un rango similar al calculado por MOSP (1985) en $107\text{-}150 \text{ m}^2/\text{d}$ y, el mencionado en CFI (1990b) según DIGMAS en $110\text{-}150 \text{ m}^2/\text{d}$.

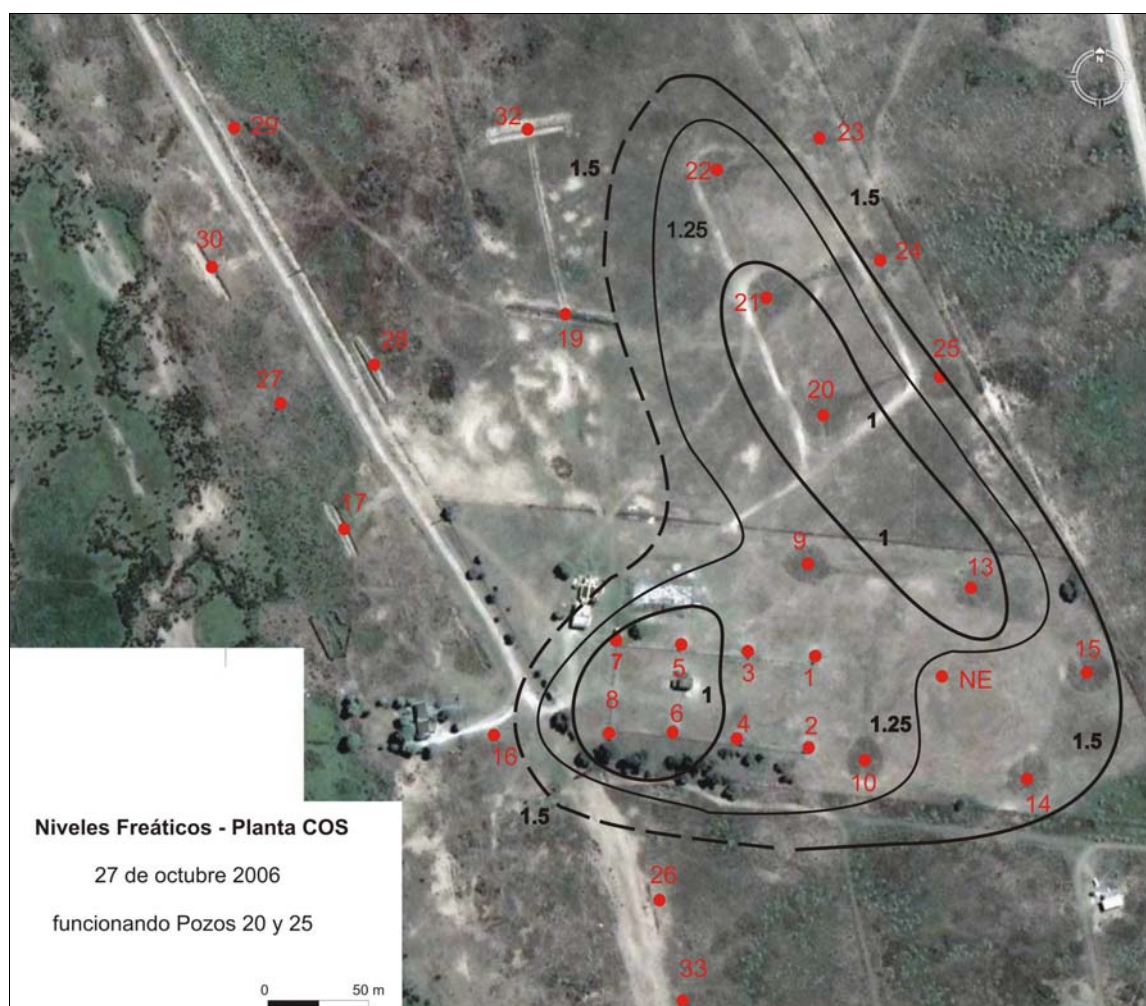


Figura 8.7. Mapa isofreático para el campo de bombeo (curvas en m s.n.m.).

Las variaciones del nivel freático son medidas en el campo de bombeo a partir de 2002, en un pozo de monitoreo cuya ubicación se observa en la Figura 8.1 con las siglas NE (o pozo 41 en los otros mapas). Estas mediciones se realizan cuando no hay pozos bombeando en las cercanías.

El promedio mensual de los niveles freáticos oscilan entre 0,4 y 2,8 m s.n.m., con una moda de 2,2 m s.n.m. Existe una relación inversa entre los valores de la cota del nivel freático y la producción. En los meses en que la extracción es mínima se manifiesta una recuperación de los niveles, mientras que se profundizan en el verano con el aumento de la extracción (Figura 8.8).

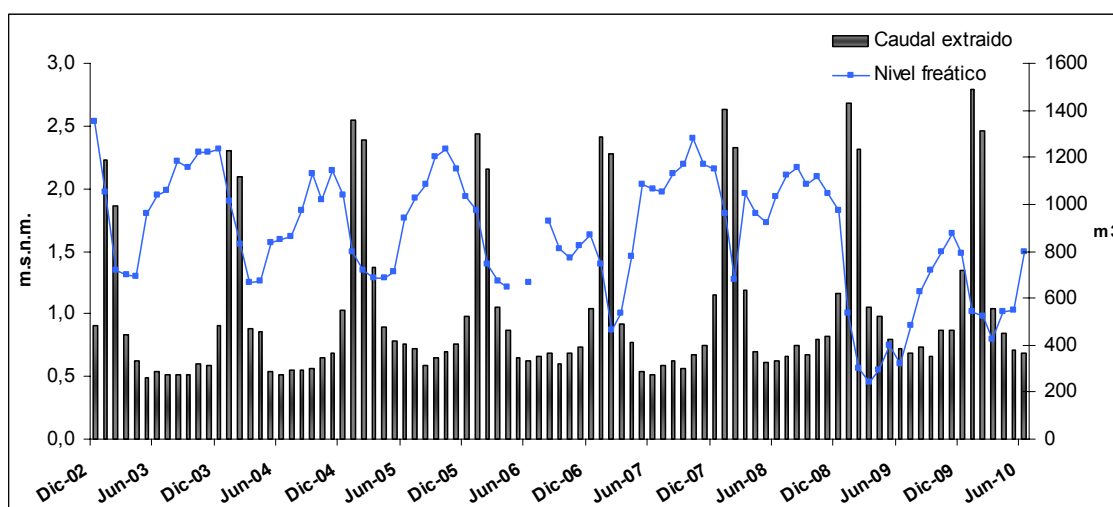


Figure 8.8. Producción media mensual y nivel freático promedio mensual

Si bien los niveles freáticos no se profundizan por debajo del 0 m s.n.m., debido a la metodología de explotación, se observa una tendencia general a la profundización con valores que oscilan entre 0,26 y 3,14 m s.n.m. (Figura 8.9)

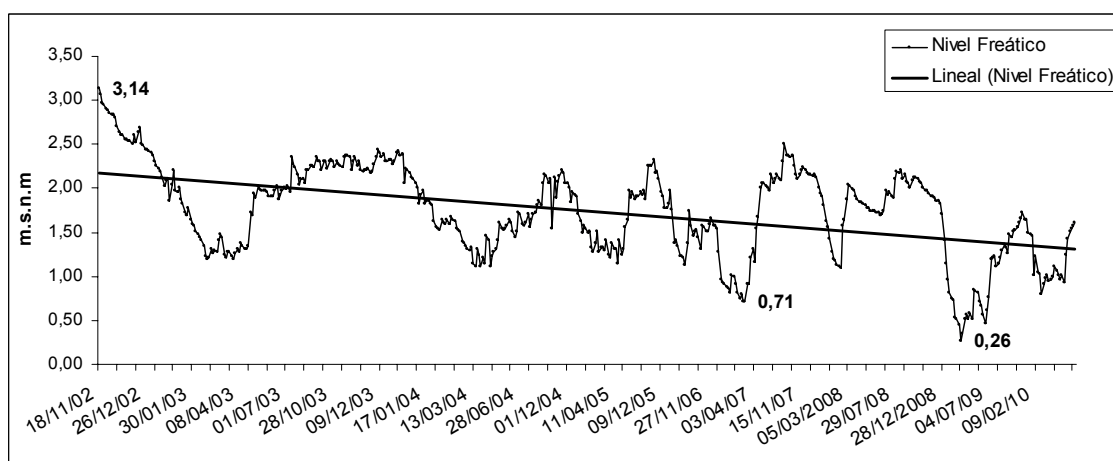


Figura 8.9. Comportamiento del nivel freático en el campo de bombeo (2002-2010).

Con respecto a la relación entre la capa freática y los excesos de agua, se manifiesta un rápido ascenso de los niveles frente a dichos excesos que se transforman en recarga. (Figura 8.10)

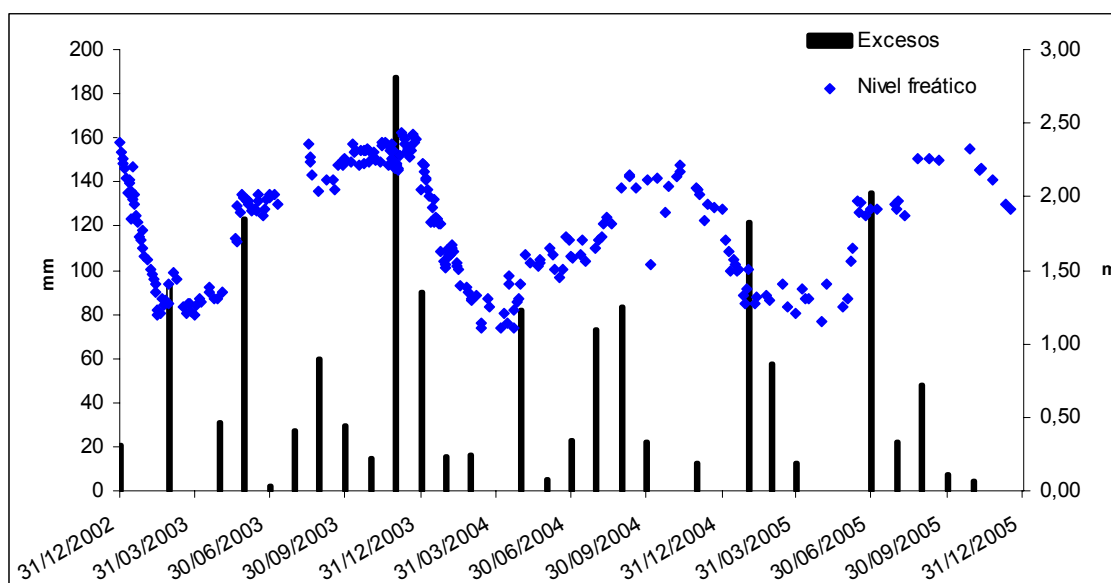


Figura 8.10. Nivel estático y excesos hídricos para el periodo 2002-2005

Durante el periodo comprendido entre el 18 de diciembre de 2009 y el 2 de marzo de 2010 se instaló un registrador continuo (diver) en el pozo 41 para estudiar el comportamiento de los niveles durante la temporada de verano que coincide con los mayores volúmenes extraídos por la batería de bombeo.

En la Figura 8.11 se ha graficado la cota media diaria del nivel freático y las precipitaciones. El nivel inicial fue de 1,53 m s.n.m. y se profundizó progresivamente a un promedio de 0,02 m por día hasta el 2 de febrero. Entre el 3 y el 7 de ese mes llovieron 188 mm, lo cual se manifiesta en un ascenso de 0,73 m en la capa freática (círculo en la figura). Posteriormente los niveles continúan su profundización con la misma tasa media hasta que finalizó el registro. La profundización total registrada fue de 0,74 m, este valor es similar a la recuperación que se produjo producto de las abundantes lluvias mencionadas.

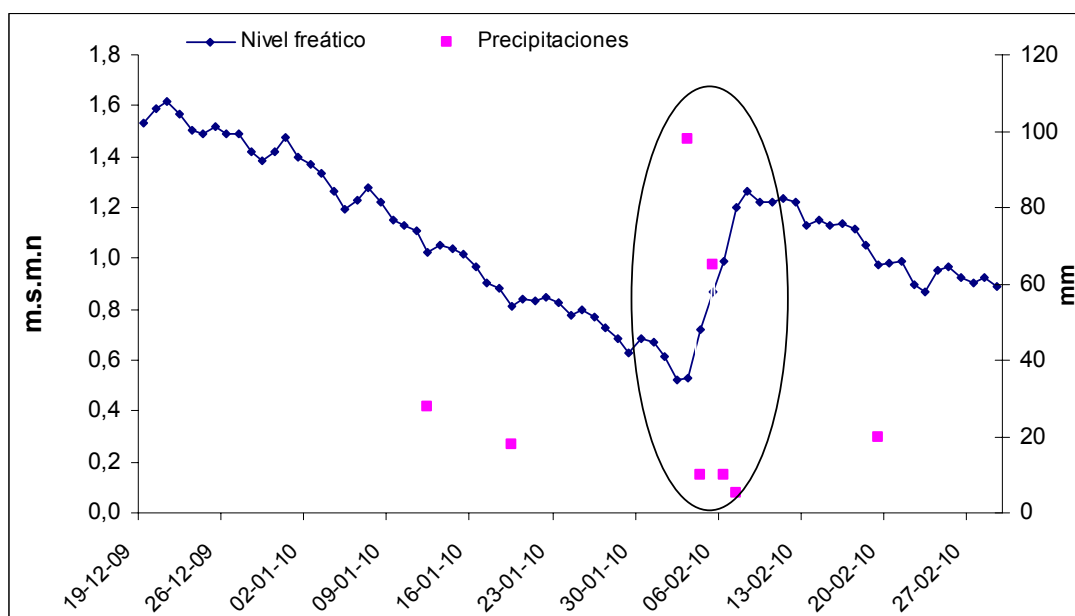


Figura 8.11. Niveles freáticos y precipitaciones (19/12/2009-01/03/2010)

En la Figura 8.12 se observa que a medida que aumenta la extracción se produce la profundización de los niveles freáticos con excepción de los días de elevada precipitación considerados previamente. Los valores de extracción diaria oscilan entre 1600 y 1800 m³ en el periodo donde se da la máxima profundización. Luego del evento de lluvias, la explotación disminuye levemente a 1400-1200 m³ pero de todas maneras los niveles continúan su profundización.

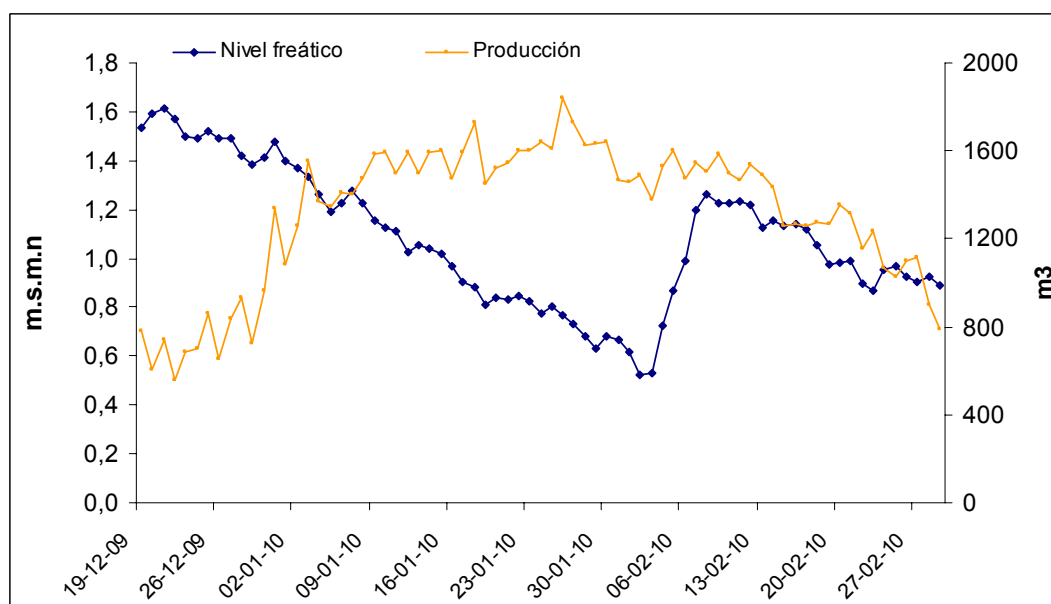


Figura 8.12. Niveles freáticos y producción diaria (19/12/2009-01/03/2010)

Las variaciones de los niveles de agua subterránea relacionadas a la explotación son coincidentes con las variaciones freáticas naturales. Los menores excesos del verano generan una profundización de los niveles (lo cual coincide con la mayor explotación) y los mayores excesos del invierno dan lugar a un ascenso (en coincidencia con la menor explotación).

El progresivo aumento de la población estable asociado a la afluencia turística del verano, supone un incremento del consumo de agua, lo cual tiene una significativa influencia en el comportamiento del agua subterránea, afectando el ciclo hidrológico natural.

En la localidad un porcentaje menor de las viviendas (del orden de 2.500) poseen agua de red proveniente del campo de bombeo que luego es tratada en planta para su posterior distribución. El resto, posee bombeadores domésticos, donde el agua no presenta tratamiento alguno. En cuanto a las obras de saneamiento, el porcentaje cubierto alcanza un número importante de viviendas de la localidad (superior a 10.000).

Se calculó una producción media diaria de agua potable en 519 m^3 . Suponiendo 200 L/d de consumo por habitante, se aplicó dicho valor de producción para reconocer si teóricamente satisfaría o no la demanda de la población desde 1960 en adelante. Cabe aclarar que la planta comenzó a funcionar en la década del 80, con lo cual el análisis previo a esa fecha es un planteo hipotético.

Se puede apreciar en la Figura 8.13 que para 1960 la producción actual excedería a la demanda en un 49%, pero a partir de 1970 se encuentra por debajo de las necesidades, llegando sólo a un 23% de población abastecida para 2001 y a un 17% para la población actual (proyectada).

La población que no se encuentra dentro del área de distribución del agua de red atiende sus necesidades a partir de la extracción particular por bombas o, en algunos barrios, por medio del abastecimiento de perforaciones municipales que se almacenan en un tanque y se distribuyen sin tratamiento previo.

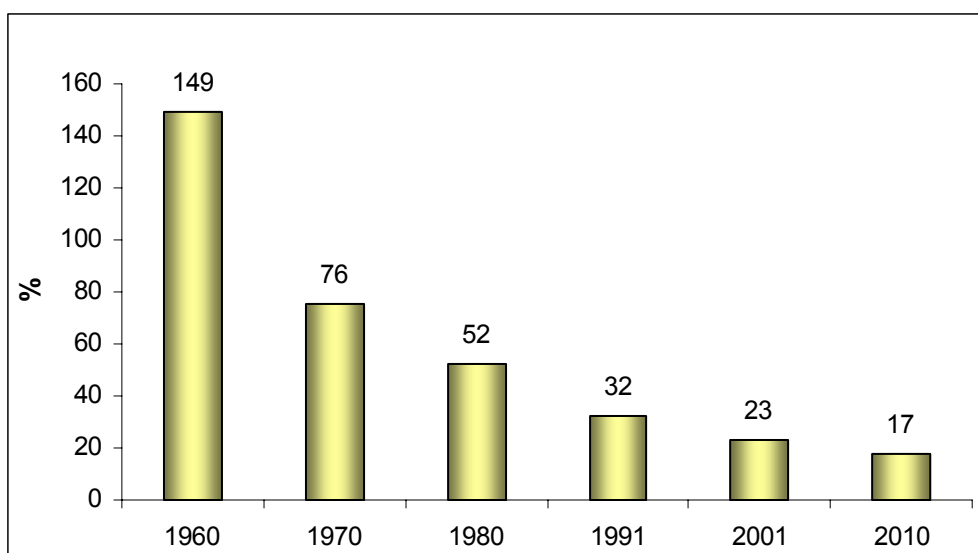


Figura 8.13. Porcentaje de población abastecida por la planta para diferentes años

Otro parámetro que se analizó fue la afluencia de turistas en el verano, de acuerdo a los datos de la Secretaría de Turismo del Partido de la Costa en la temporada 2006. Se calculó que en enero San Clemente contó con 18700 habitantes y en febrero 17000.

El incremento en la cantidad de habitantes debido al turismo conlleva a una demanda creciente del agua. A partir de los datos de la media de la producción diaria para 2006, acompañado de la tasa de consumo por habitante y teniendo en cuenta el crecimiento poblacional turístico, se calcularon los valores de déficit como pueden observarse en la Figura 8.14.

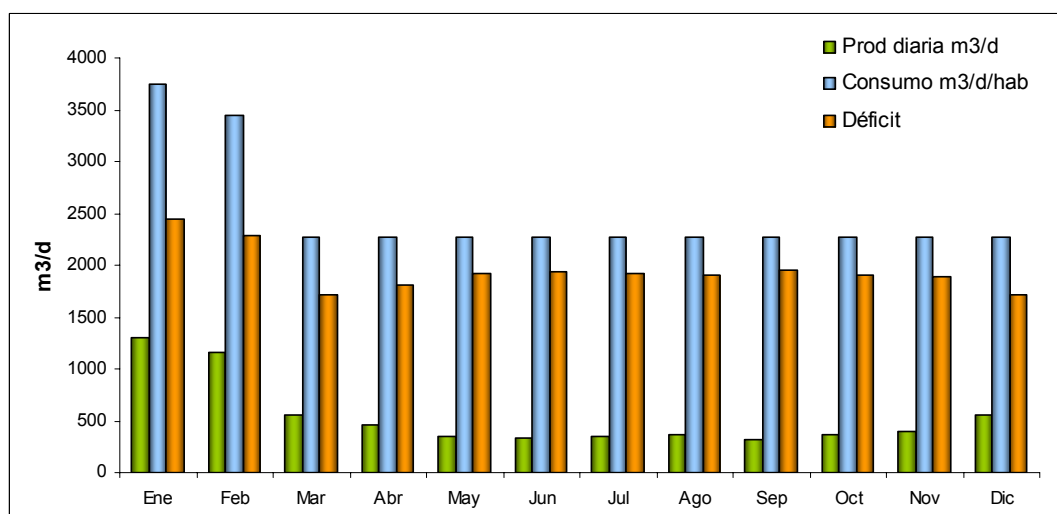


Figura 8.14. Relación producción-consumo para el año 2006.

A pesar que los valores de producción para los meses estivales son mayores, también lo es la demanda, siendo el déficit algo mayor en estas instancias, permaneciendo casi constante en el resto del año. Así los porcentajes de población abastecida por la planta potabilizadora no sobrepasan el 35 y 33 % para enero y febrero, manteniéndose entre 15 y 17 % para la mayoría de los meses (Figura 8.15).

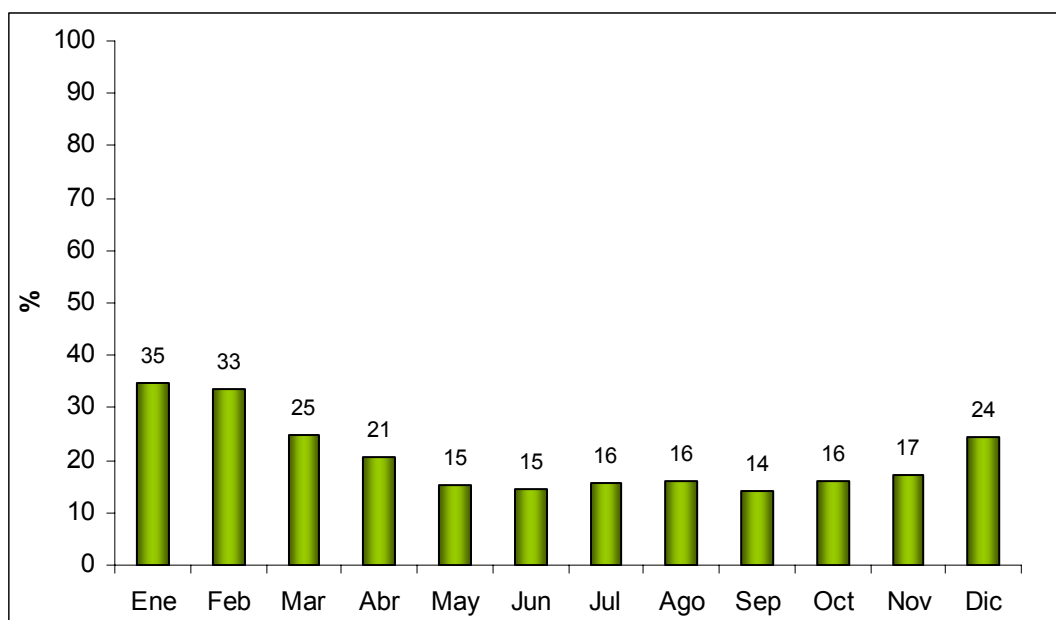


Figura 8.15. Porcentaje de población abastecida por la planta para 2006

Como se puede observar, el porcentaje de los habitantes abastecidos por la batería de bombeo es mínimo. Ante el progresivo aumento de la población estable y la demanda turística, surge la necesidad de elevar el volumen extraído. Para una correcta planificación en la expansión de la planta de extracción se deberán contemplar aspectos tales como la localización de los pozos según el ambiente, calidad química y control de caudales mediante una explotación areal a poca profundidad con el fin de evitar procesos de intrusión salina.

9. DISCUSIÓN

La preservación de las reservas de agua dulce en ambientes de médanos costeros resulta de vital importancia no sólo para asegurar el abastecimiento de agua a la población sino también como un factor que condiciona el funcionamiento de los ecosistemas.

En el sector nororiental de la costa bonaerense las reservas de agua dulce son limitadas y restringidas al agua subterránea de la franja de médanos costeros, cuyo régimen presenta una fuerte dependencia de las condiciones climáticas ya que los excesos de las precipitaciones constituyen la única fuente natural de alimentación.

Los cambios en el uso de la tierra suelen modificar la relación entre los diferentes componentes del ciclo hidrológico, limitando la disponibilidad de agua dulce. El desarrollo turístico es acompañado por un incremento en la infraestructura y por la expansión de áreas con superficies impermeables, lo que determina una reducción en los volúmenes de infiltración al sistema acuífero.

En la región costera, los eventos de altas precipitaciones representan un aporte significativo a las reservas de agua dulce, por lo que deben ser aprovechados de manera eficiente. En el caso de San Clemente del Tuyú, en los sectores urbanizados, los menores porcentajes infiltrados (15%), ponen de manifiesto los mayores volúmenes disponibles para transformarse en escurrimiento superficial, que pueden generar anegamientos de magnitud en el área urbana. Un volumen importante de lo que constituiría una recarga potencial es eliminado del sistema hídrico mediante desagües al mar. Eventos de precipitaciones mayores a 60 mm dan origen a la recuperación y mantenimiento de las reservas de agua dulce, aún cuando en términos anuales se registren períodos muy secos, tal es el ejemplo del año 2008.

Si bien en nuestro país, no existen políticas explícitas referidas a la planificación y gestión de las zonas costeras, existe en cambio, una profusa normativa general en los niveles nacional, provincial y municipal (Barragán Muñoz, 2005). Es evidente la necesidad de adoptar medidas de planificación y ordenamiento territorial frente al crecimiento de los núcleos urbanos. Las zonas costeras, con la fuerte influencia de la actividad turística sumada a la alta vulnerabilidad de los acuíferos deberían ser, especialmente consideradas a la hora de fijar las pautas de manejo del recurso.

Dado que el agua subterránea en las zonas parcial y densamente urbanizadas es altamente vulnerable y con riesgo de contaminación, las reservas aprovechables para consumo humano deben relacionarse esencialmente con el agua almacenada en el médano sin actividad.

El sistema de explotación de las lentes de agua dulce para evitar problemas de agotamiento y/o salinización requiere un aprovechamiento areal (bajos caudales individuales y escasa depresión de los niveles subterráneos) del tipo de drenes horizontales o Wellpoint.

Para el manejo del agua proveniente de eventos de tormenta y para compensar las pérdidas en la recarga como consecuencia del aumento del escurrimiento superficial, sería necesario la implementación de técnicas de infiltración artificial.

10. CONCLUSIONES

Un sistema geohidrológico somero y otro profundo caracterizan al área de estudio. La información de este último es muy escasa y sólo se tiene conocimiento de que predominan unidades de baja permeabilidad con algunas intercalaciones arenosas de alta salinidad.

En el sistema somero se incluye al ambiente de las dunas costeras donde se desarrolla la capa freática de agua dulce, directamente relacionada con el ciclo hidrológico actual, con un espesor que oscila entre 4 y 10 m. Desde un punto de vista geológico se corresponden con las arenas de las Formación Punta Médanos y las arenas conchilíferas de la Formación Pozo n° 17, dispuestas sobre un paquete arcilloso acuitardo-acuicludo con intercalaciones de lentes arenosas que contienen agua de elevada salinidad.

Los rasgos geomorfológicos tienen una influencia directa en la dinámica y química del agua subterránea. El cordón costero (conformado por dunas) es el área de predominio de recarga, dada por las áreas más elevadas en la morfología freática (sector sur) que son coincidentes con las mayores alturas de las dunas. El flujo subterráneo sigue dos direcciones opuestas, una hacia el este para descargar en el mar con un gradiente hídrico medio de 0,0023 y la otra hacia el oeste (llanura deprimida), con un gradiente medio de 0,0032. Se puede generalizar para el acuífero freático una transmisividad (T) del orden de $100 \text{ m}^2/\text{d}$, un coeficiente de almacenamiento (S) de 0,10 y una conductividad hidráulica (K) aproximada de 20 m/d.

El único ingreso natural se produce a través de la infiltración de los excesos de agua de la precipitación, cuya media anual es de 1000 mm. La recarga efectiva del sistema está asociada a eventos de lluvias que a nivel mensual superan los 60 mm y a nivel diario los 30 mm.

La dinámica freática natural está supeditada a las condiciones climáticas. El ascenso de los niveles freáticos es una respuesta a los excesos de agua de las precipitaciones. Periodos sin excesos dan lugar a la profundización de la capa freática.

Los análisis de isótopos de deuterio y oxígeno-18 indican que el agua de las precipitaciones se infiltra rápidamente alcanzando el nivel freático sin modificaciones en su composición isotópica.

Existe una relación entre el tipo de agua subterránea y el ambiente geomorfológico y consecuentemente en sus posibilidades de uso como agua potable.

El cordón costero presenta, en su mayoría, aguas bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas de baja salinidad, mientras en la llanura deprimida, son cloruradas y/o sulfatadas magnésicas de alto contenido salino. En el primer caso el agua muestra valores aceptables, resultando una restricción el alto contenido natural de hierro y manganeso. En la llanura deprimida predominan aguas con contenidos no aceptables para uso humano.

Las actividades del hombre, en especial la importante actividad turística, originan modificaciones en el medio natural y consecuentemente en las condiciones hidrológicas. Los procesos de urbanización, destrucción de dunas, impermeabilización del terreno, afectan el régimen de las aguas subterráneas, como consecuencia de la disminución de la infiltración y la restricción de las áreas de recarga. Además se modifica la amplitud de las fluctuaciones de los niveles freáticos y se generan procesos de escurrimiento superficial.

El proceso de urbanización, en distintos grados, trae aparejada la disminución de las posibilidades de infiltración de los excesos de agua, restringiendo las áreas de recarga natural y por consiguiente, las reservas de agua dulce disponibles. La disminución en la recarga es superior al 10% de lo que ocurre en el medio natural.

Los períodos con mayores excesos se reflejan en un ascenso generalizado de los niveles freáticos. Sin embargo, este comportamiento se manifiesta de manera diferencial según se trate de la zona medanosa o del área urbana. En las áreas caracterizadas por un suelo medanoso con escasa vegetación los valores de variación de niveles freáticos triplican a los del sector altamente urbanizado. Los mayores rangos de ascenso en el nivel freático se registran en la primera zona. En el área urbanizada con calles asfaltadas, si bien se registran ascensos son de menor magnitud. La disminución de la infiltración en los sectores urbanizados se relaciona con un incremento del escurrimiento superficial que da lugar a inundaciones de distintas magnitud en los sectores más poblados.

En análisis comparativo de los datos históricos de calidad química (1976 y 1987) y los actuales, indican que no existe una modificación sustancial en la calidad química del agua, con excepción de casos puntuales relacionados con procesos de contaminación antrópica.

Si bien no se han detectado evidencias de procesos de intrusión marina en condiciones climáticas estables, se ha advertido la salinización de algunos pozos luego de eventos de tormenta.

La explotación de agua subterránea para agua potable se realiza a partir de una lente de agua dulce de escaso desarrollo y con riesgo de intrusión salina por sobreexplotación mediante técnicas de pozos horizontales como los sistemas Ranney o tipo Wellpoint. Si bien en la zona de explotación no se han registrado profundidades por debajo del nivel del mar, de acuerdo a los mapas de flujo se advierte la presencia de un cono de depresión. Desde la instalación del campo de bombeo, los niveles freáticos presentan una marcada tendencia a la profundización. Esto se corresponde con un aumento de la producción media anual la cual abastece a un 20% de la población.

11. RECOMENDACIONES

Las diferencias en la infiltración dadas por los distintos grados de urbanización tienen una influencia directa en la recarga del sistema hídrico subterráneo. Por lo tanto, para una gestión sustentable del agua subterránea es necesaria una planificación racional del uso del suelo mediante la preservación de sectores sin urbanización o estableciendo áreas protegidas para facilitar los procesos de recarga.

En la planificación territorial debe contemplarse la protección ambiental de las reservas de agua dulce, lo cual implica la delimitación de áreas de seguridad donde se impidan los procesos de urbanización y otras actividades que pueden afectar la calidad del recurso hídrico subterráneo

El aporte turístico presenta un aumento creciente, por cuanto debe ser tenido en cuenta para planificar el manejo del agua subterránea en las temporadas subsiguientes. Es necesario aumentar el abastecimiento de agua potable para cubrir las necesidades de un mayor número de habitantes. La planificación de una expansión del servicio debe considerar la ubicación de los pozos de acuerdo a los ambientes geomorfológicos contemplando que las reservas de agua son escasas y responden rápidamente a las variaciones climáticas y a la extracción. El monitoreo periódico de las condiciones hidrodinámicas e hidroquímicas es una herramienta fundamental que debe ser tomada en cuenta para plantear un uso racional de las reservas de agua dulce.

Las pautas de manejo deben incluir la selección de nuevas áreas de captación, lo cual requerirá una cuantificación detallada de los ingresos y egresos de agua al sistema hidrológico. Se recomienda una explotación areal a escasa profundidad y bajos caudales individuales, siendo fundamental que las áreas de captación sean declaradas zona de reserva para conservar las áreas de recarga y evitar toda posible contaminación del agua subterránea.

12. BIBLIOGRAFIA CITADA

- Abou Zakhem B y Hafez R. 2007. Environmental isotope study of seawater intrusion in the coastal aquifer (Syria). *Environmental Geology* (2007) 51:1329–1339
- A.N.M.A.T. 2007. Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología médica. Ministerio de Salud de la Nación Argentina. Código Alimentario Argentino. Capítulo XII. Bebidas hídricas, agua y agua gasificada. Disponible en: http://www.anmat.gov.ar/CODIGO/Capitulo_XII_Agua_2007-05.pdf Acceso el 01/06/2009
- A.T.S.D.R. 2000. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for Manganese. Disponible en <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp151.html>
- Apello C.A.J y Postma D. 2007. Geochemistry, groundwater and pollution, pp 1-2, 435-437, 465-469.
- Appleyard. S. 1995. The Impact on Urban Development on Recharge and Groundwater Quality in a Coastal Aquifer near Perth, Western Australia. *Hydrology Journal* 3 (2): 65:75
- Azzaz H., Cherchali M., Meddi M., Houha B., Puig J. M., Achachi A. 2008. The use of environmental isotopic and hydrochemical tracers to characterize the functioning of karst systems in the Tlemcen Mountains, northwest Algeria. *Hydrogeology Journal* 16: 531–546
- Backman, B., Luoma, S., Schmidt-Thomé, P. y Laitinen, J. 2007. Potential risks for shallow groundwater aquifers in coastal areas of the Baltic Sea: a case study in the Hanko area in South Finland. In: Towards a Baltic Sea region strategy in critical infrastructure protection. Nordregio Report 5. Stockholm: Nordregio, pp 187-214.
- Barazzuoli P., Nocchi M., Rigati R. y Salleolini M. 2008. A conceptual and numerical model for groundwater management: a case study on a coastal aquifer in southern Tuscany, Italy. *Hydrogeology Journal* 16 (8): 1557-1576
- Barragán Muñoz, J.M., 2005. La gestión de áreas litorales en España y Latinoamérica. 198 p., Universidad de Cádiz, Cádiz. España
- Basile P.A y Riccardi G.A. 2000. Procesos hidrológicos urbanos. En: Orsolini H.E, Zimmermann E.D y Basile P.A. Hidrología, procesos y métodos. UNR. Rosario, pp 253-280.

- Batrak G. y Semenov S., 2008. Groundwaters dynamic regime in urban territories. 33rd International Geological Congress. Abstract CD HYH-01 General contribution to hydrogeology. Oslo. Norway.
- Bellot, J., Bonet A., Peña J y Sánchez J. 2007. Human Impacts on Land Cover and Water Balances in a Coastal Mediterranean County. *Environmental Management* 39:412–422
- Belyaev Yu. A., Dzhamalov, R. G., Medovar Yu. A. y Yushmanov I. O. 2007. Assessment of Groundwater Inflow in Urban Territories. *Water Resources* 34 (5): 496–500.
- Bocanegra E., Cardoso Da Silva Jr. G., Custodio E., Manzano M. y Montenegro S. 2010. State of knowledge of coastal aquifer management in South America. *Hydrogeology Journal* 18: 261–267
- Bracaccini I.O. 1980. Cuenca del Salado. En: *Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, 2do Simposio, II : 879-918.
- Calvache M.L. y Pulido-Bosch A. 1997. Effects of geology and human activity on the dynamics of salt-water intrusion in three coastal aquifers in southern Spain. *Environmental Geology* 30, 3-4: 215-223.
- Carol E, Kruse E. y Mas-Pla J. (2009a). Hydrochemical and isotopical evidence of ground water salinization processes on the coastal plain of Samborombón Bay, Argentina. *Journal of Hydrology* 365: 335–345
- Carol E, Kruse E. y Mas-Pla J. (2009b). Procesos de salinización del agua en la llanura costera de la Bahía de Samborombón (Argentina) E.: Mas-Pla J y Zuppi G (Eds). *Gestión ambiental integrada de áreas costeras*: 143-153
- Catalán Lafuente, J.G. 1969. *Química del agua*, pp 263-268.
- Choi B-Y, Yun S-T, Yu S-Y., Lee P-K, Park S-S, Chae G-T y Mayer B. 2005. Hydrochemistry of urban groundwater in Seoul, South Korea: effects of land-use and pollutant recharge. *Environmental Geology* 48: 979–990
- CFI. 1989a. Evaluación del Recurso Hídrico Subterráneo de la Región Costera Atlántica de la Provincia de Buenos Aires Regiones I y II Punta Rasa-Punta Médanos. Provincia de Buenos Aires Informe Final. Tomo II. Geología y Geomorfología. 192 p.
- CFI. 1989b. Evaluación del recurso hídrico subterráneo de la región costera atlántica; región I: Punta Rasa. Punta Médanos, provincia de Buenos Aires; Prospección geoeléctrica en la costa Atlántica de la provincia de Buenos Aires entre Punta Rasa y Punta Médanos. 33 p.

- CFI. 1990a. Evaluación del Recurso Hídrico Subterráneo de la Región Costera Atlántica de la Provincia de Buenos Aires Región I Punta Rasa-Punta Médanos. Informe Final Tomo IV Caracterización climática y Balance Hidrológico. 177 p.
- CFI. 1990b. Evaluación del Recurso Hídrico Subterráneo de la Región Costera Atlántica de la Provincia de Buenos Aires Región 1 Punta Rasa-Punta Médanos. Informe Final. Tomo I. Hidrología Subterránea. 177 p.
- Cox E. M. 1996. Effects on a Rapidly Urbanising Environment on Groundwater, Brisbane, Queensland, Australia. *Hydrogeology Journal* 4 (1): 30-47
- Craig H. 1961. Standards for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural waters. *Science*, 133: 1833-1834.
- Crossland J, Baird D., Ducroto J-P y Lindeboom H. 2005. The Coastal Zone – a Domain of Global Interactions. En: Crossland C., Kremer H., Lindeboom H. y Le Tissier M. (eds) *Coastal Fluxes in the Anthropocene. The Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone Project of the International Geosphere-Biosphere Programme*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg : 2-37
- Custodio E. y Llamas M. R. 1996. *Hidrología Subterránea*. Tomo I, 1157 p.
- Dansgaard, W. 1964. Stable isotopes in precipitation. *Tellus* 16: 436-468.
- Dapeña C. y Panarello H. 2004. Composición isotópica de la lluvia de Buenos Aires. Su importancia para el estudio de los sistemas hidrológicos pampeanos. *Revista Latino-Americana de Hidrogeología* 4: 17-25
- Dapeña C. 2007. Isótopos Ambientales livianos: su aplicación en hidrología e hidrogeología. Tesis Doctoral. Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias y Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Tesis 4282. 442p
- Deluchi, M.; J. Forte Lay; E. Kruse; P. Laurencena; E. Carol y A. Rojo. 2006. Balance hidrológico en un sector de la costa oriental de la Provincia de Buenos Aires. VII Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. Memorias: pp. 61 (Resumen) Trabajo completo en CD. Asunción, Paraguay, septiembre 2006.
- Dias Pons N., Pejon J. y Zuquette L. 2007. Use of geoprocessing in the study of land degradation in urban environments: the case of the city of Sao Carlos, state of Sao Paulo, Brazil. *Environmental Geology* 53:727–739
- Dozier. 1992. Opportunities to improve hydrologic data. *Reviews of Geophysics*. 30(4):315-331

- Drangert J.-O. y Cronin A. A. 2004. Use and abuse of the urban groundwater resource: Implications for a new management strategy. *Hydrogeology Journal* 12: 94–102.
- Eagleason P. 1991. Opportunities in the Hydrologic Sciences. Commission on Geosciences, Environment and Resources. National Research Council. USA. 348 p.
- Eiswirth M., Wolf L. y Hötzel H. 2004. Balancing the contaminant input into urban water resources. *Environmental Geology* 46:246–256
- El Yaouti F., El Mandour A., Khattach D., Benavente J. y Kaufmann O. 2009. Salinization processes in the unconfined aquifer of Bou-Areg (NE Morocco): A geostatistical, geochemical, and tomographic study. *Applied Geochemistry* 24:16–31
- European Commission, 2001. EU focus on coastal zones. Office for official publications of the European Communities. Belgium. ISBN 92-894-1151-1. 36 p
- FAO. 1990. Report on the expert consultation of FAO guidelines for prediction of crop water requirements. Land and Water Development Division. Roma. 37 p
- FAO. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. irrigation and drainage paper 56. Rome. Reprinted 2000, 2002, 2004. 300 pp.
- Figini A., Gómez G., Huarte R., Carbonari J. 1983. Los isótopos ambientales (Tritio-Carbono 14, Deuterio y Oxígeno-18) en el estudio de la salinización de las aguas subterráneas en la ciudad de Mar del Plata. Provincia de Buenos Aires. Argentina. *Revista del Museo de La Plata (Nueva Serie) Sección Geología*, tomo IX n° 77: 103-120.
- Forte Lay, J.A. Aiello J. L. y J. Kuba. 1995. Software AGROAGUA Versión 5.0.
- Frenguelli J. 1946. Las grandes unidades físicas del territorio argentino en *Geografía de la República Argentina III*. GAEA, Soc. Arg. Est. Geogr. Buenos Aires: 4-114
- García-Soldado, M. J., Chica-Olmo M., Luque-Espinar J. A y Rodríguez-Galiano V. 2008. A geostatistical approach to water quality spatial analysis at municipal level. 33rd International Geological Congress. Abstract CD HYH-01 General contribution to hydrogeology. Oslo. Norway.
- Gat J.R , Mook G. y Meijer H. 2000. UNESCO/IAEA Series on Environmental isotopes in the hydrological cycle: Principles and Applications, Vol. II, Atmospheric water. 114 p.
- Gat J. R. 1995. The relationship between the isotopic composition of precipitation, surface runoff and groundwater for semiarid and arid zones. *Application of Tracers in Arid Zone Hydrology (Proceedings of the Vienna Symposium, August 1994)*. IAHS Publ. N°. 232: 409-416

- Gat J.R. 1983. Precipitation, groundwater and surface waters: Control of climate parameters and their utilization as palaeoclimatic tools. In: Palaeoclimates and Palaeowaters: a Collection of Environmental Isotope Studies, IAEA, Vienna: 3-12
- Gat J.R. y Tzur, Y. 1967. Modification of the isotope composition of rainwater by processes which occur before groundwater recharge. Proc. IAEA. Symp. on Isotopes in Hydrology, Vienna: 49-60.
- Gat R.J. 2005. Some classical concepts of isotope hydrology. En : Isotopes in the Water Cycle: Past, present and future of a developing science, P.K. Aggarwal, J.R. Gat y K.F. Froehlich Eds. 2005 XV, 1-4020-3010-X. Berlin: Springer. 381 p
- Gattacceca J., Vallet-Coulomb C., Mayer A., Claude C., Radakovitch O., Conchetto E. y Hamelin B. 2009. Isotopic and geochemical characterization of salinization in the shallow aquifers of a reclaimed subsiding zone: The southern Venice Lagoon coastland. Journal of Hydrology 378:46–61
- Gonfiantini R. y Araguás L. 1988. Los isótopos ambientales en el estudio de la intrusión marina. En: Simposio Internacional Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros. Instituto Geológico y Minero de España. 135-190
- Gonzalez Arzac, Ricardo; Vizcaino, Alejandro y Campos Alfonso, Francisco. 1992. Acuíferos costeros de la provincia de Buenos Aires; sector Punta Rasa - Punta Médanos, parte I, hidrogeología, hidrodinámica e hidráulica. (Serie investigaciones aplicadas, 4). Buenos Aires; CFI; 36 p.
- González, N., 2005. Los ambientes hidrogeológicos de la Provincia de Buenos Aires. En: R. de Barrio, R, Etcheverry, M, Caballé and E, Llambías (eds): Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata, Buenos Aires, pp. 359 – 374.
- Grassa F., Capasso G., Favara R., Inguaggiato S. 2006. Chemical and Isotopic Composition of Waters and Dissolved Gases in Some Thermal Springs of Sicily and Adjacent Volcanic Islands, Italy. Pure and Applied Geophysics. 163: 781–807
- Hernandez M., 2005. Panorama ambiental de los recursos hídricos en la provincia de Buenos Aires En: R. de Barrio, R, Etcheverry, M, Caballé and E, Llambías (eds): Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata, Buenos Aires, pp. 347 – 358.
- Houlahan J. y Findlay C. 2004. Estimating the 'critical' distance at which adjacent land-use degrades wetland water and sediment quality. Landscape Ecology 19: 677–690.

- IAEA/WMO, 2002. "Global Network for Isotopes in Precipitation. The GNIP Database".
<http://isohis.iaea.org>
- INDEC, Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas. 1960. 1970. 1980. 1991. 2001
- INGEIS, 2009. Red Nacional de Colectores de Argentina. Base de datos. Informe Interno. Inédito.
- INTA, 1989. Mapa de suelos de la Provincia de Buenos Aires. Escala 1:500.000. CIRN-INTA Buenos Aires.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 996 p.
- Israfilov R.G. 2006. Anthropogenic changes to hydrogeological conditions in urban areas. New Perspectives from Azerbaijan. En: J.H. Tellam et al.. (eds.), Urban Groundwater Management and Sustainability, Springer: 11–28.
- Jiao J.J., Leung C. y Ding G. 2008. Changes to the groundwater system, from 1888 to present, in a highly-urbanized coastal area in Hong Kong, China. Hydrogeology Journal 16: 1527-1539.
- Jiménez Serrano, C. e Idal Marin, V.M. 1994. Aspectos nutricionales y toxicológicos de algunos elementos minerales: cobre, hierro, manganeso y zinc. Revista de enfermería n° 4. Escuela de Enfermería Universidad de Albacete. España. Disponible en <http://www.uclm.es/ab/enfermeria/revista/numero%204/elementosminerales4.htm>
- Kallioras A., Pliakas F y Diamantis I. 2006. Conceptual model of a coastal aquifer system in northern Greece and assessment of saline vulnerability due to seawater intrusion conditions. Environmental Geology 51: 349–361
- Kim Y., Lee K., Koh D., Lee D., Lee S., Park W., Koh G., y Woo N. 2003. Hydrogeochemical and isotopic evidence of groundwater salinization in a coastal aquifer: a case study in Jeju volcanic island, Korea. Journal of Hidrogeology 270: 282-294
- Kim Y-Y. 2004. Analysis of hydrochemical processes controlling the urban groundwater system in Seoul area, Korea. Geosciences Journal 8 (3): 313-318.
- Krothe J. N., Garcia-Fresca B., y Sharp, Jr. J. M. 2002. Effects of Urbanization on Groundwater Systems. En: Bocanegra, E.; Martínez, D.; Massone, H. (Eds.) Groundwater and Human Development: 354-364.

- Kruse E y Mas-Pla J. 2009. Procesos hidrológicos calidad del agua en acuíferos litorales. En: Mas-Pla J y Zuppi G (Eds). Gestión ambiental integrada de áreas costeras: 29-53
- Kruse, E., Varela L., Laurencena P., Deluchi M., Rojo A. y Carol E. 2004. Modificaciones del ciclo Hidrológico en un Área del Noreste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas 11: 131-139. Instituto Geológico Minero de España. Madrid. España.
- Lanfredi, N.W., Pousa, J.L. y D'Onofrio, E.E. 1998. Sea-level rise and related potential hazards on the Argentine coast. Journal of Coastal Research: 14, 1, 47-60
- Lambrakis N. J. 1998. The impact of human activities in the Malia coastal area (Crete) on groundwater quality. Environmental Geology 36 (1–2): 87-92
- Lavrushin V. Yu., Dubinina E. O. y Avdeenko A. S. 2005. Isotopic Composition of Oxygen and Hydrogen in Mud-Volcanic Waters from Taman (Russia) and Kakhelia (Eastern Georgia). Lithology and Mineral Resources, Vol. 40, No. 2, 2005, pp. 123–137.
- Lee J-Y y Song S-H. 2007. Evaluation of groundwater quality in coastal areas: implications for sustainable agriculture. Environmental Geology 52:1231–1242
- Lerner D.N y Barrett H. 1996. Urban Groundwater issues in the United Kingdom. Hydrogeology Journal 4 (1): 80-89
- Lerner, D. 2002. Identifying and quantifying urban recharge: a review. Hydrogeology Journal 10 (1): 143-152
- Levin M., Alberio M., Panarello H.O., Hernández M., Lorenzo F., Kerlsfeld. 1988. Uso de isótopos ambientales (^{18}O , ^2H , ^3H) para la determinación de recarga y trazado de procesos hidrodinámicos en un sector costero de la Provincia de Buenos Aires. Primera parte. Actas de las Segundas Jornadas Geológicas Bonaerenses. Bahía Blanca: 599-607
- Lu H-Y.; Liu T-K., Chen W-F., Peng T-R., Wang C-H., Tsai M-H. y Liou T-S. 2008 .Use of geochemical modeling to evaluate the hydraulic connection of aquifers: a case study from Chianan Plain. Taiwan. Hydrogeology Journal 16: 139–154
- Lu H-Y.; Peng T-R, Liu T-K., Wang C-H. y Huang Ch-Ch. 2006 Study of stable isotopes for highly deformed aquifers in the Hsinchu-Miaoli area, Taiwan. Environmental Geology 50: 885–898
- Manzano M. 2002. El papel de los acuíferos costeros en la gestión del medio natural. En: Bocanegra E., Martínez D. Massone, H. (Eds.). Groundwater and human development: 2017-2024.

- Mayo A., Davey A. y Christiansen D. 2007. Groundwater flow patterns in the San Luis Valley, Colorado, USA revisited: an evaluation of solute and isotopic data. *Hydrogeology Journal* 15: 383–408
- Meeroff D.E., Bloetscher F., Bocca T. y Morin F. 2008. Evaluation of Water Quality Impacts of On-site Treatment and Disposal Systems on Urban Coastal Waters. *Water Air Soil Pollut* 192:11–24
- Mérida L.A. 2002. La evolución de la intrusión salina en el acuífero marplatense. Ejemplo de una gestión sustentable. En Bocanegra E., Martínez D. Massone, H (Eds.). *Groundwater and human development*. ISBN 987-544-063-9. 841-850 p
- OMS. Organización Mundial de la Salud. 2006. Guías para la calidad del agua potable [recurso electrónico]: incluye el primer apéndice. Vol. 1: Recomendaciones. Tercera edición. Disponible en http://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/gdwg3_es_full_lowres.pdf Acceso el 01/06/2009
- Panagopoulos G., Lambrakis N., Tsois-Katagas P. y Papoulis D. 2004. Cation exchange processes and human activities in unconfined Aquifers. *Environmental Geology* 46:542–552
- Panarello H.O., Levin M., De Felipi R., Lorenzo F., Paladino J. y Vizcaíno A. 1993. Uso de isótopos ambientales (^{18}O , ^2H , ^3H) para la determinación de recarga y trazado de procesos hidrodinámicos en un sector costero de la Provincia de Buenos Aires. II parte. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 48 (3-4):299-306
- Park S-S, Kim S-O, Yun S-T, Chae G-T, Yu S-Y, Kim S. y Young K. 2005. Effects of land use on the spatial distribution of trace metals and volatile organic compounds in urban groundwater, Seoul, Korea. *Environmental Geology* 48: 1116–1131
- Peña Llopis, Juan. 2005. *Sistemas de Información Geográfica aplicados a la gestión del territorio*. Editorial Club Universitario. Universidad de Alicante. España. 315 p.
- Post V. E. A. 2005. Fresh and saline groundwater interaction in coastal aquifers: Is our technology ready for the problems ahead? *Hydrogeology Journal* 13(1):120–123.
- Pousa, J., Tosi, L., Kruse E., Guaraglia, D., Bonardi, M., Rizzetto, F. y Schnack, E. 2006. Coastal Processes and environmental hazards: The Buenos Aires (Argentina) and Venetian (Italy) Littorals. *Environmental Geology*, v.51, p.1307-1316.
- Quiroz Londoño O. M., Martínez D. E.; Dapeña C. y Massone H. 2008. Hydrogeochemistry and isotope analyses used to determine groundwater recharge and flow in low-gradient

catchments of the province of Buenos Aires, Argentina. Hydrogeology Journal 16: 1113–1127

- Ramos, V. A. 1999 Las provincias geológicas del territorio argentino. En: R. Caminos (ed) Geología Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Anales 29 (3): 41-96, Buenos Aires.
- Rolleri E. 1975 Provincias Geológicas Bonaerenses. VI Congreso Geológico Argentino. Relatorio Geología de la Provincia de Buenos Aires. Bahía Blanca. 29-53.
- Ruíz Huidobro, O. y Tofalo O. 1975. La intrusión del agua de mar en acuíferos litorales su control en Mar del Plata (República Argentina) En: Actas del VI Congreso Geológico Argentino, pp 515-523. Bahía Blanca. Argentina.
- Sala, J.; N. González; M. Hernández; E. Martín de Uliana; E. Cheli y E. Kruse. 1976. Factibilidad de provisión de agua subterránea a la localidad de San Clemente de Tuyú-El Tala. Provincia de Buenos Aires. Informe técnico. Convenio Cátedra de Hidrogeología. Facultad de Ciencias Naturales- Cooperativa de Obras Sanitarias de San Clemente del Tuyú. La Plata. 42 p.
- Santa Cruz J.N. y Silva Busso A., 1999. Escenario hidrogeológico General de los Principales Acuíferos de la Llanura Pampeana y Mesopotamia Septentrional Argentina. II Congreso Argentino de Hidrogeología y IV Seminario Hispano Argentino sobre Temas Actuales en Hidrología Subterránea, Tucumán, Argentina. Actas Tomo 1: 461-471.
- Satkunas J., 2008. Geoscientific information and environmental management - case of Lithuania in European context. 33rd International Geological Congress. Abstract CD EME-02 Role of geoscience in governance for sustainable development and human security. Oslo. Norway.
- Schneider J.C. y Kruse S.E. 2005. Assessing selected natural and anthropogenic impacts on freshwater lens morphology on small barrier Islands: Dog Island and St. George Island, Florida, USA. Hydrogeology Journal 14: 131–145
- Seiler K.-P. y Gat J.R. 2007. Man's Impact on the Groundwater Recharge. En: Groundwater recharge from run-off, infiltration and percolation: 187-200. Springer Netherlands
- Sivapalan, M. 2003. IAHS Decade on Predictions in Ungauged Basins. Shaping an exciting future for the hydrological sciences. Hydrol. Sci. J. 48 (6), 857 – 880.
- SMN. 1965. Servicio Meteorológico Nacional. Estadísticas Meteorológicas 1951-1960. 2da Edición corregida. Buenos Aires. 156 p.

- Sukhija B. S., Reddy D. V., Nagabhushanam P., Bhattacharya S. K., Jani R. A. y Devender Kumar. 2006. Characterization of recharge processes and groundwater flow mechanisms in weathered-fractured granites of Hyderabad (India) using isotopes. *Hydrogeology Journal* 14: 663–674
- Syvitski J., Harvey N., Wolanski E., Burnett W., Perillo G. y Gornitz V. 2005. Dynamics of the Coastal Zone. En: Crossland C., Kremer H., Lindeboom H. y Le Tissier M. (eds) *Coastal Fluxes in the Anthropocene. The Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone Project of the International Geosphere-Biosphere Programme*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 41-94
- Thorntwaite C. y Mather J. 1955. The water balance. *Climatology* 8:1–37
- Trabelsi R., Zairi M. y Dhia H.B. 2007. Groundwater salinization of the Sfax superficial aquifer, Tunisia. *Hydrogeology Journal* 15(7):1341–1355.
- Trabelsi R., Kacem A., Zouari K. y Rozanski K. 2009. Quantifying regional groundwater flow between Continental Intercalaire and Djeffara aquifers in southern Tunisia using isotope methods. *Environmental Geology*, 58 (1): 171-183
- Tricart, J.L, 1973. Geomorfología de la Pampa Deprimida. Base para los estudios edafológicos y agronómicos, INTA, XII Colección Científica. 202 p.
- US.EPA. United States Environmental Protection Agency. 2003. National Secondary Drinking Water Regulations. EPA 816-F-03-016. Disponible en <http://www.epa.gov/safewater/contaminants/index.html#sec>. Acceso el 01/06/2009
- US.EPA. United States Environmental Protection Agency. 2004. Drinking Water Health Advisory for Manganese. Disponible en http://www.epa.gov/safewater/ccl/pdfs/reg_determine1/support_cc1_magnese_dwreport.pdf- Acceso el 01/06/2009
- U.S. Geological Survey. 2006. Techniques of Water-Resources Investigations Book 9. Handbooks for Water-Resources Investigations. National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data. Chapter A4. Collection of water samples. 231 p.
- Vandenbohede A., Van Houtte E. y Lebbe L. 2008. Sustainable groundwater extraction in coastal areas: a Belgian example. *Environmental Geology*. DOI 10.1007/s00254-008-1351-8.
- Vázquez Suñé, E. y Sánchez-Vila X. 1997. Cálculo de balance y recarga en la ciudad de Barcelona. En: Custodio, E., Llamas M.R. y Samper J. (eds) *La Evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación hidrológica*. Textos del Seminario celebrado

en Las Palmas de Gran Canaria. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid, pp 399-406.

- Violante R.A y Parker G. 2000. El Holoceno en las regiones marinas y costeras del nordeste de la provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 55 (4): 337-351.
- Violante R.A., Parker G., Cavallotto J.L. y Marcolini, S. 1992. La secuencia depositacional del Holoceno en el "Río" de La Plata y plataforma del noreste bonaerense. *Actas 4° Reunión Argentina de Sedimentología*. La Plata, 1: 275-282
- Violante R.A., Parker G. y Cavallotto J.L. 2001. Evolución de las llanuras costeras del este bonaerense entre bahía Samborombón y la laguna Mar Chiquita durante el Holoceno. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 56 (1): 51-66
- Vitòria L., Soler A., Aravena R. y Canals, À. 2005). Multi-Isotopic Approach (15N, 13C, 34S, 18O and D) for Tracing Agriculture Contamination in Groundwater, En: Lichtfouse E J. Schwarzbauer, D. Robert y (Eds). *Environmental Chemistry*: 43-56
- Wang X. 2001. Integrating water-quality management and land-use planning in a watershed context. *Journal of Environmental Management* 61: 25–36.
- Yang Y., Lerner D.N., Barrett M.H. y Tellam J.H. 1999. Quantification of groundwater recharge in the city of Nottingham, UK. *Environmental Geology* 38 (3) 183-198.
- Yrigoyen M.R. 1975. Geología del subsuelo y plataforma continental. En: *Relatorio Geología de la Provincia de Buenos Aires*, VIº Congreso Geológico Argentino, 139 – 168
- Yrigoyen M.R. 1999. Los depósitos cretácicos y terciarios de las cuencas del Salado y del Colorado. En: Caminos R. (ed) *Geología Argentina*. Instituto de geología y recursos minerales .*Anales* 29 (21):645-649.
- Zárate, M.A y Rabassa, M, 2005. Geomorfología de la Provincia de Buenos. En: R de Barrio, R, Etcheverry, M, Caballé y E, Llambías (eds): *Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires*. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata, Buenos Aires. 1199 – 138
- Zuquette L., Pejon O. y Dos Santos Collares J. 2004. Land degradation assessment based on environmental geoindicators in the Fortaleza metropolitan region, state of Ceará, Brazil. *Environmental Geology* 45: 408–425

ANEXO 1

PLANILLAS DE CENSO DE POZOS 2006

Pozo	Cercano a pozo	Coordenadas		Coordenadas		Dirección
		sur	oeste	X	Y	
A	101	36° 20.25' 1''	56° 44' 21.7''	5979126	6523351	IX y Av Naval n° 966
B	176	36° 20' 31.8''	56° 44' 42''	5978640	6522844	Av XI n° 270
D		36° 20' 51.6''	56° 44' 22.6''	5978028	6523326	XI y 38 n° 494
C		36° 20' 45''	56° 44' 16.8''	5978232	6523471	40 e/ Naval y 10
E	163 y 51	36° 20' 49.7''	56° 44' 07''	5978086	6523715	9 n° 593 e/ 38 y 39
103				5978610	6524500	Av IX y 45
53				5978050	6524900	48 n° 737 e/ Costanera y 1
F	175	36° 20' 35.4''	56° 43' 53.8''	5978526	6524045	50 e/ 51 y IX n 59
G	174	36° 20' 56.8''	56° 43' 37''	5977865	6524463	50 e/ 6 y 44 n° 727
H	173	36° 21' 22.1''	56° 43' 24.5''	5977084	6524772	5n° 1855 e/ 25 y 27
I	55	36° 21' 11''	56° 43' 14''	5977426	6525035	4 y 1 baldío
58		36° 21' 29.2''	56° 43' 34.5''	5976866	6524522	8 e/ San Martín y 25
58-1						8 e/ San Martín y 25
J	164	36° 21.30' 1'	56° 43' 34.2''	5977181	6524530	30 n° 648
172		36° 21' 40.3''	56° 43' 17.7''	5976523	6524940	15 n° 426
K	61	36° 21' 39.4''	56° 43' 2.6''	5976549	6525317	21 y 24 n° 152
L	62 y 131	36° 21' 39.4''	56° 43' 2.4''	5976549	6525322	1 y Av II
M	171	36° 21' 52.9''	56° 42' 56.9''	5976133	6525457	11 y Av III n° 419 (421)
N	166	36° 21' 58.5''	56° 43' 21.5''	5975962	6524844	11 n 686 e/ 8 y 9
O	167	36° 22' 16.2''	56° 43' 16.9''	5975416	6524957	70 y 9 n° 728
P	64	36° 22' 11.3''	56° 43' 2.8''	5975566	6525309	Av III e/ 69 y 70 n° 3078.
Q	160	36° 22' 14.4''	56° 42' 46.7''	5975469	6525710	71 y 1 n° 3191
R		36° 22' 28.4''	56° 43' 16.2''	5975040	6524973	72 y 9 bis
S	66	36° 22' 24.7''	56° 43' 0.5''	5975153	6525365	72 n° 540 e/ Av Talas y Av III
T	57	36° 21' 26.4''	56° 43' 2.8''	5976950	6525313	Plaza Sarmiento 63 y 2.
U	63	36° 21' 43.2''	56° 43' 35.3''	5976435	6524501	Av Naval e/ 15 y 16 n 2223
167		36° 22' 18.2''	56° 43' 18.1''	5975354	6524927	70 n° 878 e/ Av XVII y 9
W	16	36° 22' 42''	56° 43' 56.2''	5974624	6523975	75 bis y Av XXII s/n
X	67	36° 22' 42.7''	56° 43' 26.3''	5974600	6524720	75 n° 1659 e/ Asturias y Av XVII
Y	1	36° 22' 29.4''	56° 42' 45.2''	5975007	6525746	a 50 m de Av XV e/ 1 bis y 18
Z	133	36° 22' 51.9''	56° 42' 29.4''	5974312	6526138	Costanera y 79
AA	137	36° 23' 10.4''	56° 42' 51.7''	5973743	6525580	82 e/ 7 y 8 n° 865
BB	138 y 23	36° 23' 16.3''	56° 43' 15.6''	5973563	6524984	90 y 83 esquina baldío
CC	133 y 132			5973983	6526205	18 n° 4688 e/ 83 y 84
DD		36° 23' 54.7''	56° 42' 15.3''	5972375	6526483	1 bis e/ 100 y 101
131		36° 24' 25.1''	56° 42' 31.8''	5971439	6526069	Av XX n° 66?
EE		36° 24' 15.2''	56° 42' 8.8''	5971743	6526643	1 bis e/ 104 y 105
GG	168	36° 22' 47.4''	56° 43' 38.6''	5974456	6524413	76 y Galicia n° 1864
HH		36° 20' 25''	56° 44' 24.7''	5978849	6523276	Av Naval e/ IX y Camino Tapera
II		36° 22' 6.3''	56° 43' 15.3''	5975721	6524998	8 y 69
JJ		36 22 30,3??	56 42 57 ??	5974980	6525452	Av Talas e/ XVIII y Galicia
KK		36° 22' 30.5''	56° 42' 57.1''	5974974	6525449	Av III e/ 73 y 74
LL		36° 20' 47.7''	56° 43' 40.1''	5978146	6524386	48 esq VII
MM	103	36° 20' 35.9''	56° 43' 45.2''	5978510	6524260	48 e/ IX y 51 n° 33
B7		36° 23' 46.4''	56° 42' 46.2''	5972633	6525714	planta 1

Pozo	Propietario	Fuente de información	Bomba Tipo	Muestra en
A	Cañellas Melchor	Cañellas Melchor	bombeador	A
B	Katavic Gustavo	Inquilino	sapo	57 n° 236 e/ 10 y XI
D	Flia Muñoz		solo caño	D con muestreador
C		albañiles	bombeador	solo muestra
E	Otto Müller		sapo	E
103	Camping CETAM	cuidador	bombeador	solo muestra
53	Guillermo Pesce		bombeador	solo muestra
F	Noemí Segovia			F
G	Magliolo Nancy		bombeador	solo muestra
H	Sra Roldán		bombeador	solo muestra
I	Romero		sapo	I
58	Bomberos	Marcelo Barsaglini	sapo	58
58-1	Bomberos		dispensador	solo muestra
J	Juan García			solo muestra
172	Heroles		sapo	172
K	Cersetti		caño solo	K de bombeador
L	Camping ACA	encargada	sapo	L
M		Sr. Teylor	bombeador	solo muestra
N	Lorenzo Amelia		sapo	casa de la cuñada
O		Carlos	bombeador	O
P	Demetrio (gitano)		sapo	Av III e/ 69 y 70 n° 3029
Q		"borrachines"	caño solo	71 e/ 1 y costanera
R			caño solo	72 e/ 9 y 9 bis n° 822
S	Sr. Cura		tapa	S con muestreador
T		placero	bombeador	solo muestra
U	Flia Gomez		sapo	U
167		cuidador	caño solo	corresponde a la O
W	Sra Rodriguez	bombeador		solo muestra
X	Pasalodos		sapo	75 n° 1675, bombeador
Y	Vivero	guardaparques	sapo	solo muestra
Z	bomba pública		caño solo	79, e/ 1 y Costanera n° 10.
AA	Moriones Cecilia		sapo	AA
BB	Sr. Chavez	cuidador	sapo	la bomba de la esquina
CC	Scabuzzo		bombeador	solo muestra
DD	Barco Hundido		sapo	DD
131			caño solo	sin muestra
EE			caño solo	sin muestra
GG	Garcia Mariela		sapo	GG
HH	Municipalidad	Cañellas		solo muestra
II	Municipalidad	Cañellas		solo muestra
JJ	Municipalidad	Cañellas		solo muestra
KK	COS		sapo	del bombeador
LL	Ortea Manuel		caño solo	sin muestra
MM	Lopez o Franze		fosa abierta	103 del camping CETAM
B7	Valentino			de pozo colector

Pozo	Cota de TN (msnm)	Cota b.p (msnm)	Nivel medido	Nivel de referencia		Prof correg (medido-caño)	NF acotado
				tipo	m sobre sup		
A	2,48	2,56	1,92	caño	0,1	1,82	0,64
B	2,14	2,73	2,15	caño	0,55	1,6	0,58
D	1,98	2,38	1,42	caño	0,43	0,99	0,96
C							
E	2,63	3,29	2,2	caño	0,62	1,58	1,09
103							
53							
F	1,71	1,71	0,81	pozo abierto	0	0,81	0,90
G							
H							
I	2,27	2,27	1,47	nivel de terreno	0	1,47	0,80
58	3,56	3,87	2,35	caño	0,33	2,02	1,52
58-1							
J							
172	2,56	3,19	2,43	caño	0,63	1,8	0,76
K	2,53	2,67	2	caño	0,15	1,85	0,67
L	2,33	2,69	2	plataforma	0,34	1,66	0,69
M							
N	2,99	3,39	2,4	caño	0,39	2,01	0,99
O							
P	2,56	2,98	1,96	base de ladrillo	0,42	1,54	1,02
Q	2,62	3,36	2,82	caño	0,715	2,105	0,54
R	2,42	2,85	1,35	caño	0,43	0,92	1,50
S	2,92	2,92	1,9	terreno natural	0	1,9	1,02
T							
U	2,43	2,9	1,82	base caño	0,47	1,35	1,08
167	2,36	3,12	1,73	caño	0,75	0,98	1,39
W							
X	1,97	2,71	1,5	caño	0,75	0,75	1,21
Y							
Z	2,56	2,91	2,15	caño	0,32	1,83	0,76
AA	3,44	3,78	1,95	base de ladrillo	0,34	1,61	1,83
BB	2,4	3	1,65	caño	0,6	1,05	1,35
CC							
DD	3,8	4,17	2,95	caño	0,31	2,64	1,22
131	3,87	4,09	1,34	caño	0,23	1,11	2,75
EE	3,93	4,4	3,11	base material	0,48	2,63	1,29
GG	1,86	2,33	1,02	caño	0,13	0,89	1,31
HH							
II							
JJ							
KK	2,37	2,67	1,65	base de material	0,3	1,35	1,02
LL	3,04	3,04	1,94	terreno natural	0	1,94	1,10
MM	2,81	2,81	1,6	terreno natural	0	1,6	1,21
B7							

Pozo	fecha de medición	Observaciones
A	24/10/2006	Accesible, en el frente de la casa
B	24/10/2006	cerca del puerto, accesible. Muestra en casa de al lado, Sra que nos dio las herramientas
D	24/10/2006	Barrio San Martín, donde se nos trabó el muestreador, caño de plástico que desenroscamos
C	24/10/2006	Casas del plan Federal en construcción.
E	24/10/2006	dijo que ese lugar era antiguo cangrejal
103	24/10/2006	Camping CETAM
53	24/10/2006	Pidió análisis, dirección en Bs As Nogoyá 2608. CP 1417
F	24/10/2006	Sra haciendo obra, nos mando el mecánico de la vuelta.
G	24/10/2006	Decían que el pozo estaba en la calle según los viejos. La madre nos llevo a esa casa
H	24/10/2006	Cerca de la gente dueña de la panadería, chica rubia.
I	25/10/2006	Panadería Bahía, 5 casi San Martín, se había inundado la calle
58	25/10/2006	Muestra sacada de la bomba sapo
58-1	25/10/2006	Agua tratada del dispensador con ficha
J	25/10/2006	Referencia Sr. Alvarez del pozo 164 que queda en 30 nº 688
172	25/10/2006	A la vuelta de la Cooperativa, es otro dueño del censo anterior pero la bomba es la misma.
K	25/10/2006	No nos dejaba medir primero, muestra del bombeador, accesible.
L	25/10/2006	Dentro del camping en la placita de juegos
M	25/10/2006	Viejo "pariente de Carlos Herrera" la que le alquilo falleció y no era la dueña. Calle inundada.
N	25/10/2006	no le andaba la bomba, casa con animalitos, chanchito. Muestra de la casa de la cuñada a la vuelta.
O	25/10/2006	deposito, vende para reciclaje, esperamos que vaciara el tanque para la muestra fresca
P	25/10/06	Muestra en casa de Rodenak
Q	25/10/2006	Casa destruida, caño solo en el parque
R	25/10/2006	El caño de la bomba está en la esquina baldío frente al camping El Tala
S	26/10/2006	Al lado de la estación de YPF
T	26/10/2006	en la plaza de la casilla de Turismo, el placero esta por la mañana
U	26/10/2006	Dicen que esta bomba es la de Fornerón del pozo 63.
167	26/10/2006	Medimos el nivel aca, pero sacamos la muestra de la vereda de enfrente
W	26/10/2006	Pasaba la calle límite con Lavalle, zona de chacras
X	26/10/2006	Nivel en bomba sapo, casa con carretón al frente, y muestra de bombeador enfrente
Y	26/10/2006	La bomba esta adentro al lado del semillero y de la casa que dice "vigilancia"
Z	26/10/2006	Muestra en casa de García Rubén, había un Rollwaider
AA	26/10/2006	Sra donde a Titi lo corrió el pato, dice "La Goleta" en la puerta
BB	26/10/2006	En la esquina bomba sola que pertenece a los Medina
CC	26/10/2006	nos llevo hasta ahí la gente que mando el del molino, a la entrada del camino a la planta
DD	26/10/2006	sobre el médano, muchos perritos, restaurant da para la playa.
131	26/10/2006	casa sin habitantes, nos metimos por el alambre, lejos al fondo en los medanos
EE	26/10/2006	casa que dice "Cdad de Castelar". Abandonada sobre el médano
GG	26/10/2006	cerca de la casa que tenía las bombas de adorno, el chico era domador de caballos.
HH	27/10/2006	Batería Barrio San Martín
II	27/10/2006	Batería Barrio Juan XXIII
JJ	27/10/2006	Batería Barrio Brunacci
KK	27/10/2006	Planta 2 de la Cooperativa
LL	27/10/2006	mercado al lado del camping Kulmekan I.
MM	27/10/2006	fosa en construcción
B7	27/10/2006	Muestra del pozo colector B7, de los pozos B20 y B25 funcionando ese día.

ANEXO 2

PLANILLAS DE CENSO DE POZOS 2007-2010

POZO	latitud	longitud	X	Y	UBICACIÓN	Cota boca pozo	Cota T.N.	Cota boca pozo 42 y 41 nuevos
1	36 20 21.5	56 44 45.1	5978957,806	6522767,273	Av XX e/ 51 y 61	1,808	1,719	
2	36 20 23.3	56 43 25.2	5978896,853	6524759,800	Av IX y camino a Tapera	2,366	2,386	
3	36 20 31.2	56 43 57.3	5978655,582	6523958,566	Av IX y VIII	2,055	2,105	
4	36 20 43	56 43 27.7	5978289,766	6524695,720	46 y costanera	2,541	2,576	
5	36 20 49.9	56 43 55.6	5978079,025	6523999,365	7 e/ 37 y 38 (casi 37)	2,548	2,648	
6	36 20 55.1	56 44 16.3	5977920,147	6523482,729	38 y Galicia	2,014	2,059	
7	36 21 15.2	56 43 58.8	5977299,357	6523917,411	31 y Naval	2,052	2,11	
8	36 21 14.5	56 43 42.3	5977319,788	6524328,899	Av VI e/ 7 y 8	3,24	3,305	
9	36 21 8.1	56 43 10.8	5977514,830	6525114,926	4 Norte y costanera	1,845	2,155	
10	36 21 35.6	56 42 55.6	5976666,016	6525491,452	4 Sur y costanera	2,547	2,505	
11	36 21 39.1	56 43 17.1	5976559,687	6524955,077	COS III y 15	3,011	2,839	
12	36 21 47.9	56 43 42.5	5976290,223	6524321,020	15 y Galicia	1,853	1,98	
13	36 22 11.8	56 43 33.2	5975552,833	6524550,798	Av XVIII y 69	1,575	1,665	
14	36 22 11.8	56 43 27.5	5975552,429	6524692,899	69 y Naval	2,006	2,046	
15	36 22 07.9	56 43 09.0	5975671,321	6525154,453	69 y 7	2,725	2,705	
16	36 22 05.1	56 42 45.7	5975755,926	6525735,587	Av I y costanera	1,886	1,996	
17	36 22 24.3	56 42 41.3	5975163,744	6525843,514	Av XV y calle 1	2,452	2,595	
18	36 22 30.6	56 43 58.4	5974975,068	6523920,961	Av III e/ 73 y 74	2,705	2,52	
19	36 22 37.3	56 43 19.7	5974765,814	6524885,092	Av XII 74	2,041	2,011	
20	36 22 42.6	56 43 30.3	5974603,193	6524620,393	Av Naval y 75	1,71	1,7	
21	36 22 42.2	56 43 42.2	5974616,363	6524323,794	Av XVIII y 75	1,771	1,8	
22	36 23 10.3	56 43 46.1	5973750,430	6524224,151	Av XVIII y Talas	2,09	2,34	
23	36 23 10.1	56 43 10.5	5973754,064	6525111,492	Av XII y 81	2,179	2,198	
24	36 23 0.5	56 42 46.2	5974048,213	6525718,045	81 y Av III	2,984	3,004	
25	36 20 01.9	56 42 28.4	5979552,357	6526178,363	81 y costanera n° 44	2,313	2,31	
26	36 23 26.4	56 42 20	5973247,856	6526368,664	86 n° 14 y costanera	2,663	2,7	
27	36 23 28.1	56 42 20.9	5973195,520	6526346,073	Av XIII y Costanera	3,315	3,395	
28	36 23 27.3	56 42 39.5	5973221,581	6525882,575	III y 86	2,585	2,642	
29	36 23 25	56 43 03.7	5973294,265	6525279,638	Av. XIII y Av. XII	2,568	2,623	
30	36 23 48.1	56 42 47.2	5972580,974	6525688,760	Av XII planta 1	3,504	3,457	
31	36 23 55.8	56 42 36.5	5972342,818	6525954,707	7 y 100	3,336	3,39	
32	36 23 55.5	56 42 31.7	5972351,706	6526074,355	III y 100	3,286	3,31	
33	36 23 52.6	56 42 17	5972439,989	6526440,964	100 y calle 1	1,643	1,696	
34	36 24 17	56 42 10.7	5971687,354	6526595,653	1 y 105	2,75	2,78	
35	36 24 24.5	56 42 27.7	5971457,452	6526171,332	Av XX y Av III	3,155	3,2	
36	36 24 24.8	56 42 29	5971448,302	6526138,910	7 y Av. XX	3,291	3,343	
37	36 24 33.5	56 42 26.8	5971179,950	6526192,917	7 e/106 y 107	3,186	3,263	
38	36 24 46.5	56 42 19	5970778,621	6526386,050	III y 109	2,796	2,863	
39	36 24 46.4	56 42 03.3	5970780,500	6526777,245	1 Y 110	2,901	2,939	
40	36 24 15.2	56 42 8.8	5971742,695	6526643,170	1 e/ 104 y 105	4,4	3,93	4,76
41 NE	36 23 47.3	56 42 39.8	5972605,085	6525873,253	Planta 1	3,51	3,39	
42	36 22 51.9	56 42 29.4	5974312,060	6526137,597	Costanera y 79	2,91	2,56	3,46
43	36 22 30.6	56 42 58.2	5974970,789	6525421,645	Av III e/ 73 y 74	2,65	2,52	

	26/11/2007		06/02/2008		13/03/2008		15/04/2008		20/05/2008	
POZO	Prof H2O medida	NE corregido	Prof H2O medida	NE corregido	Prof H2O medida	NE corregido	Prof H2O medida	NE corregido	Prof H2O medida	NE corregido
1	0,58	1,228	0,95	0,86	0,52	1,29	0,76	1,05	0,87	0,94
2	1,09	1,276	1,89	0,48	1,42	0,95	1,54	0,83	1,74	0,63
3	0,32	1,735	0,97	1,09	0,42	1,64	0,67	1,39	0,82	1,24
4	1,33	1,211	1,78	0,76	1,28	1,26	1,52	1,02	1,69	0,85
5	0,81	1,738	1,45	1,10	1,02	1,53	1,20	1,35	1,33	1,22
6	0,77	1,244	0,90	1,11	0,72	1,29	0,79	1,22	0,96	1,05
7	0,78	1,272	1,04	1,01	0,62	1,43	0,78	1,27	0,88	1,17
8	1,48	1,76	2,06	1,18	1,64	1,60	1,85	1,39	2,03	1,21
9	0,94	0,905	1,34	0,51	0,98	0,87	1,07	0,78	1,18	0,67
10	1,81	0,737	2,09	0,46	1,82	0,73	1,83	0,72	1,99	0,56
11	1,87	1,141	2,20	0,81	1,93	1,08	2,09	0,92	2,17	0,84
12	0,71	1,143	0,76	1,09	0,44	1,41	0,55	1,30	0,62	1,23
13	0,84	0,735	1,10	0,48	0,35	1,23	0,75	0,83	0,87	0,71
14	1,1	0,906	1,35	0,66	0,96	1,05	1,10	0,91	1,22	0,79
15	1,25	1,475	1,82	0,91	1,40	1,33	1,63	1,10	1,76	0,97
16	0,87	1,016	1,22	0,67	0,85	1,04	0,99	0,90	1,16	0,73
17	1,46	0,992	1,78	0,67	1,38	1,07	1,56	0,89	1,63	0,82
18										
19	0,49	1,551	1,08	0,96	0,30	1,74	0,62	1,42	0,70	1,34
20	0,76	0,95	1,04	0,67	0,34	1,37	0,70	1,01	0,68	1,03
21	0,71	1,061	1,18	0,59	0,38	1,39	0,72	1,05	0,81	0,96
22	1,3	0,79	seco	seco	1,42	0,67	1,34	0,75	1,69	0,40
23	0,57	1,609	1,17	1,01	0,34	1,84	0,52	1,66	0,63	1,55
24	0,87	2,114	1,32	1,66	0,68	2,30	0,92	2,06	1,10	1,88
25	1,49	0,823	1,60	0,71	1,25	1,06	1,30	1,01	1,53	0,78
26	1,73	0,933	1,81	0,85	1,35	1,31	1,43	1,23	1,74	0,92
27	1,31	2,005	2,44	0,88	1,85	1,47	2,06	1,26	2,35	0,97
28	0,59	1,995	0,98	1,61	0,22	2,37	0,51	2,08	0,58	2,01
29	0,94	1,628	1,32	1,25	0,70	1,87	0,87	1,70	0,87	1,70
30	1,41	2,094	1,99	1,51	1,62	1,88	1,53	1,97	1,56	1,94
31	0,93	2,406	1,29	2,05	0,64	2,70	0,92	2,42	1,08	2,26
32	1,03	2,256	1,34	1,95	0,84	2,45	0,91	2,38	1,05	2,24
33	0,39	1,253	0,63	1,01	0	1,64	0,15	1,49	0,33	1,31
34	0,98	1,77	1,31	1,44	0,58	2,17	0,93	1,82	1,03	1,72
35	0,56	2,595	0,95	2,21	0,16	3,00	0,53	2,63	0,56	2,60
36	0,64	2,651	1,02	2,27	0,24	3,05	0,60	2,69	0,62	2,67
37	0,55	2,636	0,90	2,29	0,07	3,12	0,52	2,67	0,51	2,68
38	0,25	2,546	0,55	2,25	0,00	2,86	0,10	2,70	0,11	2,69
39	1,27	1,631	1,39	1,51	0,77	2,13	1,11	1,79	1,22	1,68
40	2,85	1,55	3,14	1,26	2,50	1,90			2,93	1,47
41 NE	1,34	2,17	2,33	1,18	1,49	2,02	1,72	1,79	1,80	1,71
42	2,12	0,79	2,18	0,73	1,99	0,92	1,89	1,02	2,13	0,78
43		1,56	1,52	1,13	1,14	1,51	1,33	1,32	1,47	1,18

POZO	18/06/2008		14/07/2008		19/08/2008		16/09/2008		20/10/2008	
	Prof H2O medida	NE corregido	Prof H2O medida	NE corregido	Prof H2O medida	NE corregido	Prof H2O medida	NE corregido	Prof H2O medida	NE corregido
1	0,73	1,08	0,52	1,29	0,41	1,40	0,65	1,16	0,81	1,00
2	1,63	0,74	1,43	0,94	1,25	1,12	1,38	0,99	1,51	0,86
3	0,67	1,39	0,45	1,61	0,32	1,74	0,7	1,36	0,62	1,44
4	1,54	1,00	1,44	1,10	1,33	1,21	1,46	1,08	1,59	0,95
5	1,21	1,34	1,03	1,52	0,89	1,66	1,03	1,52	1,14	1,41
6	0,75	1,26	0,70	1,31	0,71	1,30	0,78	1,23	0,93	1,08
7	0,77	1,28	0,61	1,44	0,58	1,47	0,74	1,31	0,92	1,13
8	1,93	1,31	1,78	1,46	1,67	1,57	1,78	1,46	1,89	1,35
9	1,07	0,78	1,01	0,84	0,975	0,87	1,04	0,81	1,19	0,66
10	1,91	0,64	1,98	0,57	1,91	0,64	1,97	0,58	2,14	0,41
11	2,11	0,90	2,02	0,99	1,96	1,05	2,01	1,00	2,11	0,90
12	0,56	1,29	0,3	1,55	0,39	1,46	0,56	1,29	0,72	1,13
13	0,79	0,79	0,61	0,97	0,56	1,02	0,76	0,82	1,06	0,52
14	1,18	0,83	1,1	0,91	1,04	0,97	1,16	0,85	1,28	0,73
15	1,71	1,02	1,5	1,23	1,48	1,25	1,58	1,15	1,7	1,03
16	1,08	0,81	1,06	0,83	0,99	0,90	1,07	0,82	1,21	0,68
17	1,58	0,87	1,53	0,92	1,47	0,98	1,54	0,91	1,71	0,74
18			1,23	1,48	1,15	1,56	1,26	1,45	1,37	1,34
19	0,61	1,43	0,36	1,68	0,22	1,82	0,39	1,65	0,56	1,48
20	0,66	1,05	0,44	1,27	0,29	1,42	0,61	1,10	0,79	0,92
21	0,74	1,03	0,47	1,30	0,31	1,46	0,62	1,15	0,82	0,95
22	1,53	0,56	1,27	0,82	0,9	1,19	1,22	0,87	1,56	0,53
23	0,48	1,70	0,35	1,83	0,29	1,89	0,36	1,82	0,52	1,66
24	1,06	1,92	0,95	2,03	0,85	2,13	1,01	1,97	1,14	1,84
25	1,43	0,88	1,6	0,71	1,47	0,84	1,57	0,74	1,74	0,57
26	1,73	0,93	1,83	0,83	1,61	1,05	1,8	0,86	1,95	0,71
27	2,34	0,98	2,39	0,93	2,19	1,13	2,37	0,95	2,46	0,86
28	0,59	2,00	0,43	2,16	0,35	2,24	0,52	2,07	0,66	1,93
29	0,81	1,76	0,68	1,89	0,65	1,92	0,79	1,78	0,91	1,66
30	1,52	1,98	1,31	2,19	1,25	2,25	1,31	2,19	1,83	1,67
31	1,05	2,29	0,91	2,43	0,8	2,54	0,96	2,38	1,07	2,27
32	1,09	2,20	0,95	2,34	0,87	2,42	1,00	2,29	1,16	2,13
33	0,33	1,31	0,23	1,41	0,2	1,44	0,34	1,30	0,45	1,19
34	1,06	1,69	1	1,75	0,88	1,87	0,99	1,76	1,13	1,62
35	0,56	2,60	0,38	2,78	0,3	2,86	0,48	2,68	0,65	2,51
36	0,63	2,66	0,42	2,87	0,32	2,97	0,55	2,74	0,71	2,58
37	0,52	2,67	0,3	2,89	0,21	2,98	0,46	2,73	0,6	2,59
38	0,20	2,60	inundado	2,86	inundado	2,86	0,17	2,63	0,34	2,46
39	1,18	1,72	1,1	1,80	1,12	1,78	1,22	1,68	1,39	1,51
40	2,94	1,46	2,96	1,44	2,8	1,60	2,88	1,52	3	1,40
41 NE	1,62	1,89	1,42	2,09	1,39	2,12	1,51	2,00	1,46	2,05
42	2,04	0,87	2,24	0,67	2,11	0,80	2,23	0,68	2,95	0,51
43	1,43	1,22	1,26	1,39	1,16	1,49	1,31	1,34	1,4	1,25

POZO	26/11/2008		18/12/2008		26/01/2009		23/02/2009		19/03/2009	
	Prof H2O medida	NE corregido	Prof H2O medida	NE corregido	Prof H2O medida	NE corregido	Prof H2O medida	NE corregido	Prof H2O medida	NE corregido
1	1,01	0,80	1,12	0,69	1,31	0,50	1,09	0,72	1,05	0,76
2	1,93	0,44	2,29	0,08	2,55	-0,18	2,43	-0,06	2,48	-0,11
3	0,91	1,15	1,08	0,98	1,4	0,66	1,28	0,78	1,23	0,83
4	1,71	0,83	1,82	0,72	2,04	0,50	1,86	0,68	1,74	0,80
5	1,385	1,16	1,54	1,01	1,87	0,68	1,86	0,69	1,81	0,74
6	0,98	1,03	1,11	0,90	1,25	0,76	1,00	1,01	0,84	1,17
7	1,06	0,99	1,16	0,89	1,34	0,71	1,12	0,93	1	1,05
8	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco
9	1,2	0,65	1,28	0,57	1,49	0,36	1,43	0,42	1,28	0,57
10	2,12	0,43	2,11	0,44	2,25	0,30	2,21	0,34	2,01	0,54
11	2,21	0,80	2,3	0,71	2,44	0,57	2,44	0,57	2,44	0,57
12	0,83	1,02	0,93	0,92	0,98	0,87	0,83	1,02	0,73	1,12
13	1,22	0,36	1,3	0,28	1,49	0,09	1,22	0,36	1,08	0,50
14	1,41	0,60	1,45	0,56	1,6	0,41	1,53	0,48	1,37	0,64
15	1,77	0,96	1,77	0,96	seco	seco	seco	seco	seco	seco
16	1,25	0,64	1,31	0,58	1,45	0,44	1,35	0,54	1,24	0,65
17	1,75	0,70	1,83	0,62	1,97	0,48	1,85	0,60	1,75	0,70
18	1,54	1,17	1,66	1,05	1,96	0,75	1,98	0,73	1,91	0,80
19	0,83	1,21	1,01	1,03	1,3	0,74	1,25	0,79	1,18	0,86
20	0,97	0,74	1,12	0,59	1,45	0,26	1,12	0,59	0,96	0,75
21	1,08	0,69	1,21	0,56	1,46	0,31	1,36	0,41	1,27	0,50
22	1,89	0,20	2,02	0,07	2,02	0,07	2,02	0,07	2,02	0,07
23	0,93	1,25	1,1	1,08	1,45	0,73	1,31	0,87	1,2	0,98
24	1,32	1,66	1,46	1,52	1,73	1,25	1,67	1,31	1,56	1,42
25	1,75	0,56	1,7	0,61	1,73	0,58	1,61	0,70	1,47	0,84
26	1,85	0,81	1,9	0,76	1,9	0,76	1,77	0,89	1,65	1,01
27	2,41	0,91	2,46	0,86	2,46	0,86	no esta	--	--	--
28	0,91	1,68	1,02	1,57	arena	arena	arena	arena	arena	arena
29	1,13	1,44	1,27	1,30	1,63	0,94	1,54	1,03	1,41	1,16
30	1,94	1,56	2,2	1,30	2,5	1,00	2,5	1,00	2,5	1,00
31	1,26	2,08	1,39	1,95	1,69	1,65	1,77	1,57	1,59	1,75
32	1,34	1,95	1,46	1,83	1,76	1,53	1,75	1,54	1,59	1,70
33	0,52	1,12	0,63	1,01	0,8	0,84	0,6	1,04	0,42	1,22
34	1,24	1,51	1,35	1,40	1,53	1,22	1,47	1,28	1,28	1,47
35	0,87	2,29	0,99	2,17	1,3	1,86	1,23	1,93	1,06	2,10
36	0,94	2,35	1,07	2,22	1,37	1,92	1,31	1,98	1,16	2,13
37	0,84	2,35	0,97	2,22	1,27	1,92	1,23	1,96	1,06	2,13
38	0,55	2,25	0,67	2,13	0,98	1,82	0,85	1,95	0,69	2,11
39	1,44	1,46	1,53	1,37	1,7	1,20	1,67	1,23	1,39	1,51
40	3,09	1,31	3,16	1,24	3,34	1,06	gente		3,06	1,34
41 NE	1,65	1,86	1,73	1,78	2,77	0,74	2,98	0,53	3,12	0,39
42	anulado	anulado	anulado	anulado	anulado	anulado	anulado	anulado	anulado	anulado
43	1,57	1,08	1,7	0,95	2	0,65	2	0,65	1,95	0,70

POZO	27/04/2009		26/05/2009		29/06/2009		28/07/2009		24/08/2009	
	Prof H2O medida	NE corregido	Prof H2O medida	NE corregido	Prof H2O medida	NE corregido	Prof H2O medida	NE corregido	Prof H2O medida	NE corregido
1	1,15	0,66	1,18	0,63	1,23	0,58	0,585	1,22	0,71	1,10
2	2,55	-0,18	2,55	-0,18		-0,18	1,9	0,47	1,94	0,43
3	1,30	0,76	1,33	0,73	1,4	0,66	0,7	1,36	0,74	1,32
4	1,77	0,77	1,81	0,73	1,85	0,69	1,28	1,26	1,52	1,02
5	1,85	0,70	1,90	0,65		0,60	1,35	1,20	1,36	1,19
6	0,89	1,12	0,91	1,10		1,05	0,65	1,36	0,74	1,27
7	1,06	0,99	1,09	0,96		0,60	0,61	1,44	0,72	1,33
8	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco	seco
9	1,30	0,55	1,33	0,52		0,47	1	0,85	1,23	0,62
10	2,12	0,43	2,14	0,41	2	0,55	1,82	0,73	2,05	0,50
11	2,44	0,57	2,44	0,57		0,57	2,44	0,57	2,44	0,57
12	0,77	1,08	0,77	1,08	0,84	1,01	0,37	1,48	0,47	1,38
13	1,03	0,55	1,00	0,58		0,53	0,44	1,14	0,66	0,92
14	1,40	0,61	1,43	0,58	1,32	0,69	1	1,01	1,14	0,87
15	--	--	--	--	--	--	--			
16	1,31	0,58	1,34	0,55			0,96	0,93	1,16	0,73
17	1,80	0,65	1,81	0,64	1,79	0,66	1,45	1,00	1,65	0,80
18	2,08	0,63	2,14	0,57	2,08	0,63	1,55	1,16	1,57	1,14
19	1,25	0,79	1,31	0,73	1,29	0,75	0,56	1,48	0,58	1,46
20	1,00	0,71	1,00	0,71			0,36	1,35	0,57	1,14
21	1,27	0,50	1,27	0,50	1,25	0,52	0,61	1,16	0,67	1,10
22	2,02	0,07	2,02	0,07		0,07	2,02	0,07	2,02	0,07
23	1,27	0,91	1,32	0,86			0,53	1,65	0,59	1,59
24	1,69	1,29	1,8	1,18			1,24	1,74	1,31	1,67
25	1,60	0,71	1,67	0,64			1,26	1,05	1,65	0,66
26	1,82	0,84	1,825	0,84	1,83	0,83	1,36	1,30	1,86	0,80
27	--	--	--	--	--	--	--		--	--
28	---	---	---	---	---	---	---		---	---
29	1,49	1,08	1,55	1,02	1,56	1,01	0,9	1,67	0,91	1,66
30	2,50	1,00	2,5	1,00		1,00	2,37	1,13	2,24	1,26
31	1,78	1,56	1,91	1,43			1,41	1,93	1,51	1,83
32	1,75	1,54	1,87	1,42	1,94	1,35	1,39	1,90	1,46	1,83
33	0,57	1,07	0,63	1,01	0,44	1,20	0,22	1,42	0,48	1,16
34	1,36	1,39	1,42	1,33	1,45	1,30	1,02	1,73	1,18	1,57
35	1,20	1,96	1,24	1,92	1,3	1,86	0,72	2,44	0,7	2,46
36	1,25	2,04	1,32	1,97			0,81	2,48	0,82	2,47
37	1,15	2,04	1,2	1,99			0,67	2,52	0,68	2,51
38	0,77	2,03	0,83	1,97	0,9	1,90	0,34	2,46	0,39	2,41
39	1,52	1,38	1,53	1,37	1,56	1,34	1,28	1,62	1,49	1,41
40	3,18	1,22	3,22	1,18	3,23	1,17	2,98	1,42	3,1	1,30
41 NE	2,93	0,58	2,7	0,81	3,05	0,46	2,3	1,21	2,38	1,13
42	anulado	anulado	anulado	anulado	anulado	anulado	anulado	anulado	anulado	anulado
43	1,99	0,66	2,05	0,60			1,6	1,05		

POZO	28/09/2009		23/10/2009		30/11/2009		18/12/2009		02/02/2010	
	Prof H2O medida	NE corregido	Prof H2O medida	NE corregido	Prof H2O medida	NE corregido	Prof H2O medida	NE corregido	Prof H2O medida	NE corregido
1	0,57	1,24	0,73	1,08	0,54	1,27	0,88	0,93	1,09	0,72
2	1,85	0,52	1,71	0,66	1,6	0,77	1,83	0,54	2,21	0,16
3	0,54	1,52	0,65	1,41	0,44	1,62	0,79	1,27	1,09	0,97
4	1,45	1,09	1,55	0,99	1,34	1,20	1,60	0,94	1,83	0,71
5	1,19	1,36	1,24	1,31	1,12	1,43	1,34	1,21	1,65	0,90
6	0,75	1,26	0,84	1,17	0,69	1,32	0,96	1,05	0,93	1,08
7	0,69	1,36	0,82	1,23	0,63	1,42	0,96	1,09	1,10	0,95
8	1,96	1,28	1,98	1,26	1,87	1,37	seco	seco	seco	seco
9	1,11	0,74	1,11	0,74	1	0,85	1,10	0,75	1,36	0,49
10	1,90	0,65	1,99	0,56	1,83	0,72	1,96	0,59	2,09	0,46
11	2,20	0,81	2,22	0,79	2,1	0,91	2,27	0,74	2,43	0,58
12	0,41	1,44	0,60	1,25	0,43	1,42	0,75	1,10	0,83	1,02
13	0,63	0,95	0,82	0,76	0,72	0,86	1,01	0,57	1,20	0,38
14	1,12	0,89	1,19	0,82	1,1	0,91	1,28	0,73	1,46	0,55
15	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
16	1,03	0,86	1,10	0,79	0,97	0,92	1,12	0,77	1,30	0,59
17	1,53	0,92	1,58	0,87	1,48	0,97	1,61	0,84	1,82	0,63
18	1,45	1,26	1,50	1,21	1,31	1,40	1,50	1,21	1,62	1,09
19	0,43	1,61	0,60	1,44	0,32	1,72	0,75	1,29	1,08	0,96
20	0,42	1,29	0,61	1,10	0,39	1,32	0,95	0,76	1,02	0,69
21	0,54	1,23	0,76	1,01	0,52	1,25	0,92	0,85	1,18	0,59
22	1,70	0,39	1,79	0,30	1,56	0,53	1,55	0,54	2,02	0,07
23	0,43	1,75	0,60	1,58	0,37	1,81	0,79	1,39	1,13	1,05
24	1,17	1,81	1,26	1,72	1,06	1,92	1,27	1,71	1,51	1,47
25	1,41	0,90	1,61	0,70	1,52	0,79	1,65	0,66	1,66	0,65
26	1,69	0,97	1,87	0,79	1,74	0,92	1,83	0,83	1,87	0,79
27	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
28	0,62	1,97	0,76	1,83	0,78	1,81	0,85	1,74	--	--
29	0,82	1,75	0,93	1,64	0,5	2,07	1,06	1,51	--	--
30	2,02	1,48	2,02	1,48	2,02	1,48	2,24	1,26	2,50	1,00
31	1,32	2,02	1,39	1,95	1,22	2,12	1,40	1,94	1,62	1,72
32	1,33	1,96	1,40	1,89	1,2	2,09	1,40	1,89	1,64	1,65
33	0,40	1,24	0,48	1,16	0,28	1,36	0,53	1,11	0,67	0,97
34	1,12	1,63	1,23	1,52	1,06	1,69	1,28	1,47	1,43	1,32
35	0,62	2,54	0,74	2,42	0,51	2,65	0,85	2,31	1,14	2,02
36	0,67	2,62	0,80	2,49	0,56	2,73	0,92	2,37	1,19	2,10
37	0,54	2,65	0,66	2,53	0,42	2,77	0,78	2,41	1,10	2,09
38	0,28	2,52	0,41	2,39	0,17	2,63	0,52	2,28	0,76	2,04
39	1,28	1,62	1,41	1,49	1,27	1,63	1,41	1,49	1,56	1,34
40	2,99	1,41	3,11	1,29	2,99	1,41	3,14	1,26	3,58	1,18
41 NE	2,03	1,48	1,99	1,52	1,87	1,64	2,03	1,48	2,90	0,61
42	anulado	anulado	anulado	anulado	anulado	anulado	anulado	anulado	anulado	anulado
43	1,49	1,16	1,53	1,12	1,37	1,28	1,56	1,09	1,82	0,83

POZO	02/03/2010		07/04/2010		06/05/2010		09/06/2010		14/07/2010	
	Prof H2O medida	NE corregido	Prof H2O medida	NE corregido	Prof H2O medida	NE corregido	Prof H2O medida	NE corregido	Prof H2O medida	NE corregido
1	0,80	1,01	0,84	0,97	0,76	1,05	0,58	1,23	0,37	1,44
2	2,25	0,12	2,19	0,18	1,76	0,61	1,55	0,82	1,28	1,09
3	0,67	1,39	0,78	1,28	0,68	1,38	0,53	1,53	0,3	1,76
4	1,46	1,08	1,56	0,98	1,52	1,02	1,39	1,15	1,34	1,20
5	1,30	1,25	1,39	1,16	1,31	1,24	1,12	1,43	0,89	1,66
6	0,69	1,32	0,74	1,27	0,68	1,33	0,71	1,30	0,68	1,33
7	0,69	1,36	0,76	1,29	0,73	1,32	0,62	1,43	0,58	1,47
8	1,97	1,27	2,05	1,19	seco	seco	2,8	0,44	2,68	0,56
9	1,01	0,84	1,10	0,75	1,1	0,75	0,96	0,89	0,8	1,05
10	1,82	0,73	1,94	0,61	1,94	0,61	1,87	0,68	1,84	0,71
11	2,28	0,73	2,41	0,60	2,28	0,73	2,15	0,86	2,03	0,98
12	0,36	1,49	0,85	1,00	0,4	1,45	0,38	1,47	0,35	1,50
13	0,72	0,86	0,75	0,83	0,65	0,93	0,45	1,13	0,38	1,20
14	1,05	0,96	1,14	0,87	1,13	0,88	0,98	1,03	0,85	1,16
15	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
16	1,03	0,86	1,13	0,76	1,17	0,72	0,98	0,91	0,97	0,92
17	1,51	0,94	1,60	0,85	1,68	0,77	1,48	0,97	1,48	0,97
18	1,47	1,24	1,53	1,18	1,48	1,23	2,08	0,63	1,12	1,59
19	0,65	1,39	0,72	1,32	0,62	1,42	0,37	1,67	0,08	1,96
20	0,73	0,98	0,72	0,99	0,7	1,01	0,45	1,26	0,28	1,43
21	0,81	0,96	0,83	0,94	0,73	1,04	0,45	1,32	0,25	1,52
22	2,02	0,07	2,02	0,07	2,02	0,07	2,02	0,07	2,02	0,07
23	0,66	1,52	0,78	1,40	0,64	1,54	0,34	1,84	0,24	1,94
24	1,04	1,94	1,13	1,85	1,15	1,83	0,95	2,03	0,8	2,18
25	1,37	0,94	1,52	0,79	1,55	0,76	1,39	0,92	1,34	0,97
26	1,44	1,22	1,65	1,01	1,75	0,91	1,59	1,07	1,55	1,11
27	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
28	0,66	1,93	0,74	1,85	0,64	1,95	0,5	2,09	0,35	2,24
29	0,98	1,59	1,03	1,54	0,95	1,62	0,8	1,77	0,68	1,89
30	2,41	1,09	2,26	1,24	2,2	1,30	2,12	1,38	1,78	1,72
31	1,22	2,12	1,34	2,00	1,38	1,96	1,16	2,18	1,02	2,32
32	1,23	2,06	1,31	1,98	1,34	1,95	1,17	2,12	1	2,29
33	0,10	1,54	0,35	1,29	0,38	1,26	0,25	1,39	0,21	1,43
34	1,03	1,72	1,16	1,59	1,15	1,60	0,99	1,76	0,92	1,83
35	0,70	2,46	0,83	2,33	0,68	2,48	0,56	2,60	0,26	2,90
36	0,83	2,46	0,93	2,36	0,76	2,53	0,62	2,67	0,34	2,95
37	0,72	2,47	0,76	2,43	0,64	2,55	0,49	2,70	0,18	3,01
38	0,38	2,42	0,44	2,36	0,3	2,50	0,12	2,68	inundado	2,80
39	1,18	1,72	1,32	1,58	1,38	1,52	1,2	1,70	1,42	1,48
40	3,23	1,53	3,50	1,26	3,42	1,34	3,23	1,53	3,16	1,60
41 NE	2,72	0,79	2,55	0,96	2,42	1,09	2,19	1,32	1,89	1,62
42	anulado	anulado	anulado	anulado	anulado	anulado	anulado	anulado	anulado	anulado
43	1,49	1,16	-	-	-		-		-	

POZO	OBSERVACIONES
1	zona puerto, frente Astilleros Baader(local de Perelli)
2	al lado poste grueso, bomba municipal San Martin funcionando.
3	pasando alambrado 6 m del poste de luz, sobre IX
4	esquina casa con ladrillitos rojos, al lado del n° 390(?)
5	frente al n° 646 , palo de luz a la izquierda
6	Pilar de luz
7	entre el Hipico y campo de doma, esquina frente palo del alambrado, derecha.
8	casa suegra de Cañelas
9	sobre 1 palo de luz esquina opuesta al cantero.
10	cantero norte sobre la costanera, se cambio el filtro a 4 m.
11	pozo dentro de la Cooperativa
12	Alambrado, se termina la calle A 0.50 adelante a la izq.
13	a la izquierda palo de luz 1m, al fondo se ve casa verde
14	a 2,40 m al Oeste del palo con el nombre de las calles
15	esquina Plaza opuesto al Tanque Municipal Juan XXIII, palo de luz blanco
16	Atrás camping ACA, palitos de madera e/ la X y el otro.
17	frente al Vivero en calle asfaltada, frente al poste de luz sobre 1
18	Planta 2. NE freatímetro a 11m de la casa, se hizo otro ahora
19	Al lado poste de luz, esquina terreno baldio, cerca camping Pinos.
20	Al lado poste de luz, sobre 75 terreno baldio, a 0.40 hacia la Naval
21	esquina terreno baldio, sobre 75 frente palo de luz, a la der 0.30m
22	Tanque Municipal Brunaci, caño enterrado, rellenaron.
23	frente al pilar de la luz de casa casi en la esquina.
24	esquina de casa "Molino" sobre Av III frente al poste de luz.
25	a la derecha poste de luz 50 cm. Casa de madera. Pintaron el poste casi no se ve el N°.
26	frente a casa amarilla con vigas, n° 84, cerca casa linda.
27	Frente a casa de madera, poste X. Hacerlo de nuevo a 4metros prof.
28	frente al puesto de caballeria
29	entrada tranquera Planta 1, poste de tension esquinita triangular. A 1 m de X
30	Planta 1. Al 3er palo desde la casilla entrada
31	Palo luz con X azul. A 0.30 m frente a la X.
32	frente a caseta inmobiliaria , Palo luz con X azul. A la derecha del poste 0.30 m
33	Al lado del poste de luz
34	Palo luz con X azul, cruzando casa CDAD DE CASTELAR
35	frente al palo de luz con cartel Av.XX a 0.80m al frente del palo
36	Palo de luz con X, baldio
37	Se termino la calle, frente a casita medianera de ladrillos
38	Ojo es un bajo, palo luz, de fondo se ve casita, fin de la calle
39	A 0.40 m a la derecha,palo luz con X, final de la calle al fondo, medano entero. Enterrado
40	caño solo, casa que dice "Cdad de Castelar". Abandonada sobre el médano.
41 NE	Nivel Estatico de planta 1.Medido dias antes en febrero
42	nivel en caño de la esquina sobre el medano.
43	Planta 2. NE freatímetro anexo a Est Meteorologica

ANEXO 5

ANÁLISIS DE DOBLE MASA DATOS ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Se exponen los resultados del análisis de doble masa realizado para los datos de precipitaciones las estaciones meteorológicas de San Clemente.

El análisis entre la Sede y Planta 2 no arrojó buenos resultados como lo muestra la Figura 1. El índice de correlación R^2 es de 0,9017 y puede observarse que la línea no sigue una tendencia lineal

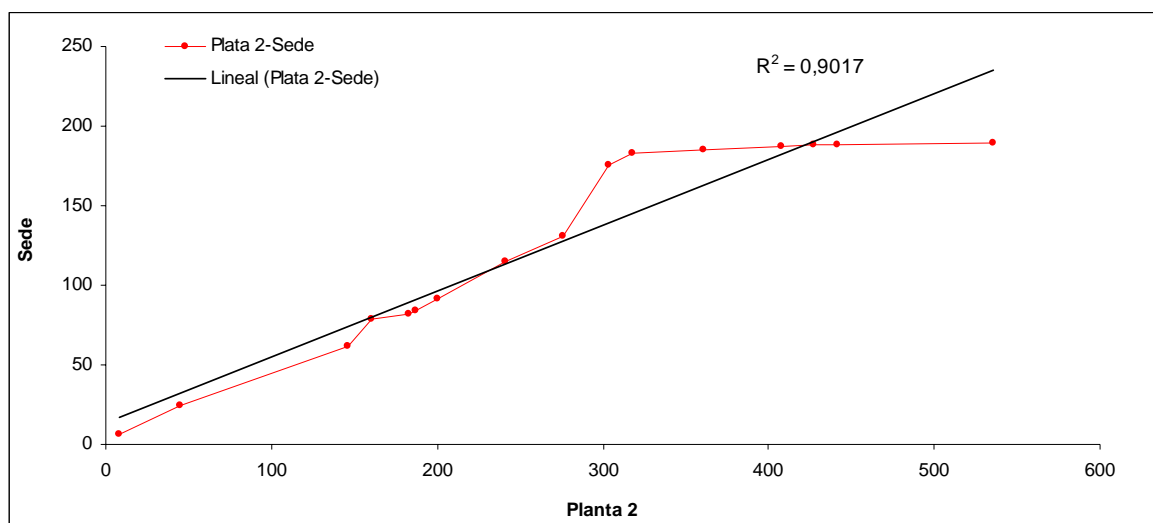


Figura 4.1. Grafico que representa los resultados del análisis de doble masa entre la estación Sede y Planta 2 para el periodo noviembre 2007- febrero 2009

La misma metodología fue aplicada entre la Sede y Planta 1, con resultados aún menos satisfactorios, obteniéndose un R^2 de 0,7949. (Figura 2)

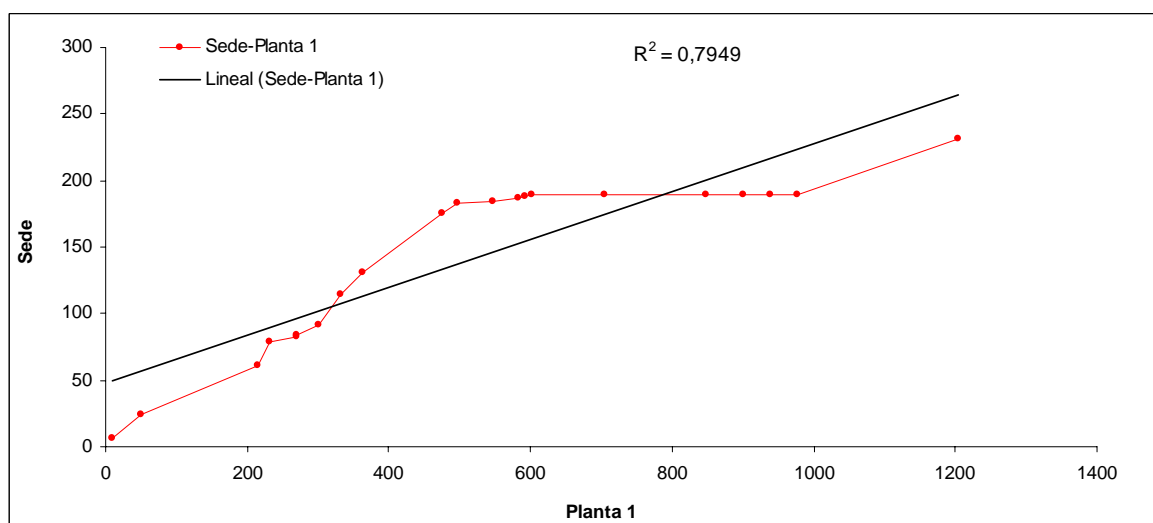


Figura 4.2.4. Grafico que representa los resultados del análisis de doble masa entre la estación Sede y Planta 1 para el periodo noviembre 2007- febrero 2009

Por último, el valor más aceptable corresponde a la correlación entre la Planta 1 y Planta 2, con un R^2 de 0,9836 y una recta que se adapta bastante a una tendencia lineal. (Figura 3)

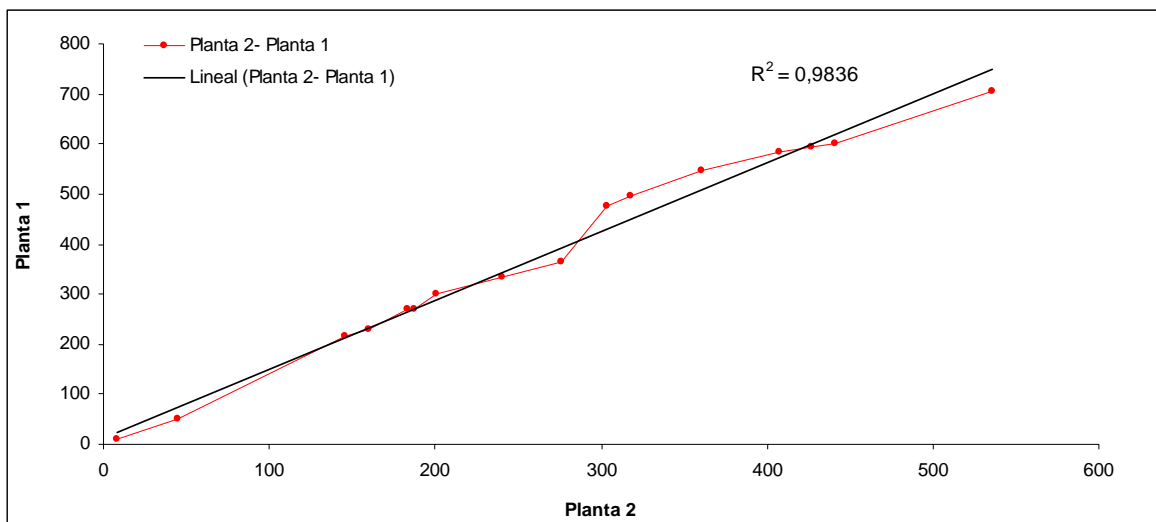


Figura 3. Gráfico que representa los resultados del análisis de doble masa entre la estación Planta 2 y Planta 1 para el periodo noviembre 2007- febrero 2009

Además del análisis efectuado, las diferencias son más que notorias con un simple reconocimiento visual al graficar las tres estaciones para el periodo disponible (Figura 4)

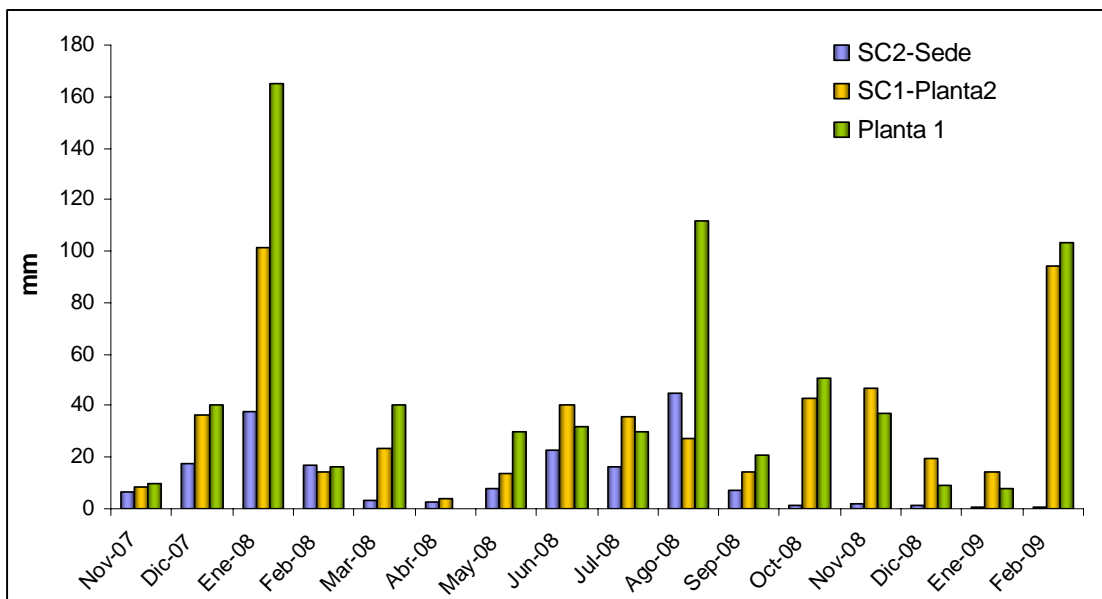


Figura 4. Precipitaciones medias mensuales para las tres estaciones (Nov.-07-Feb.-09)

En vista a estos resultados no se utilizaron los datos de precipitaciones de la estación SC2-Sede. Las diferencias entre Planta 1 y Plata 2, pueden deberse en parte a la ubicación de las mismas, ya que se encuentran separadas por 2,5 km con lo cual es factible una variación en las precipitaciones de un sitio al otro. Por otro lado existieron algunas fechas en las que el aparato estuvo fuera de funcionamiento

ANEXO 6

MAPAS DE FLUJO

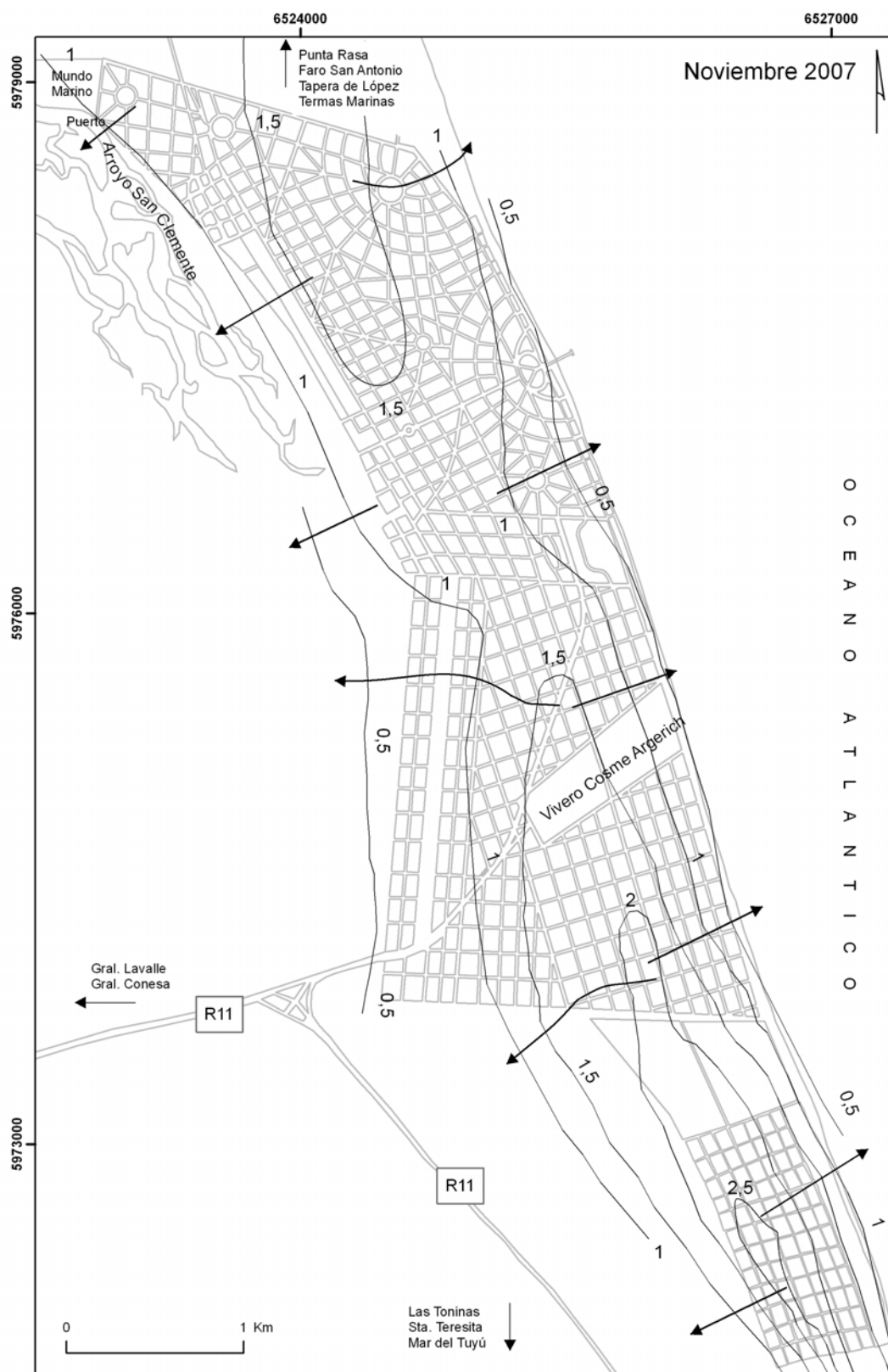


Figura 1. Mapa de flujo subterráneo para noviembre de 2007 (curvas en m s.n.m.)

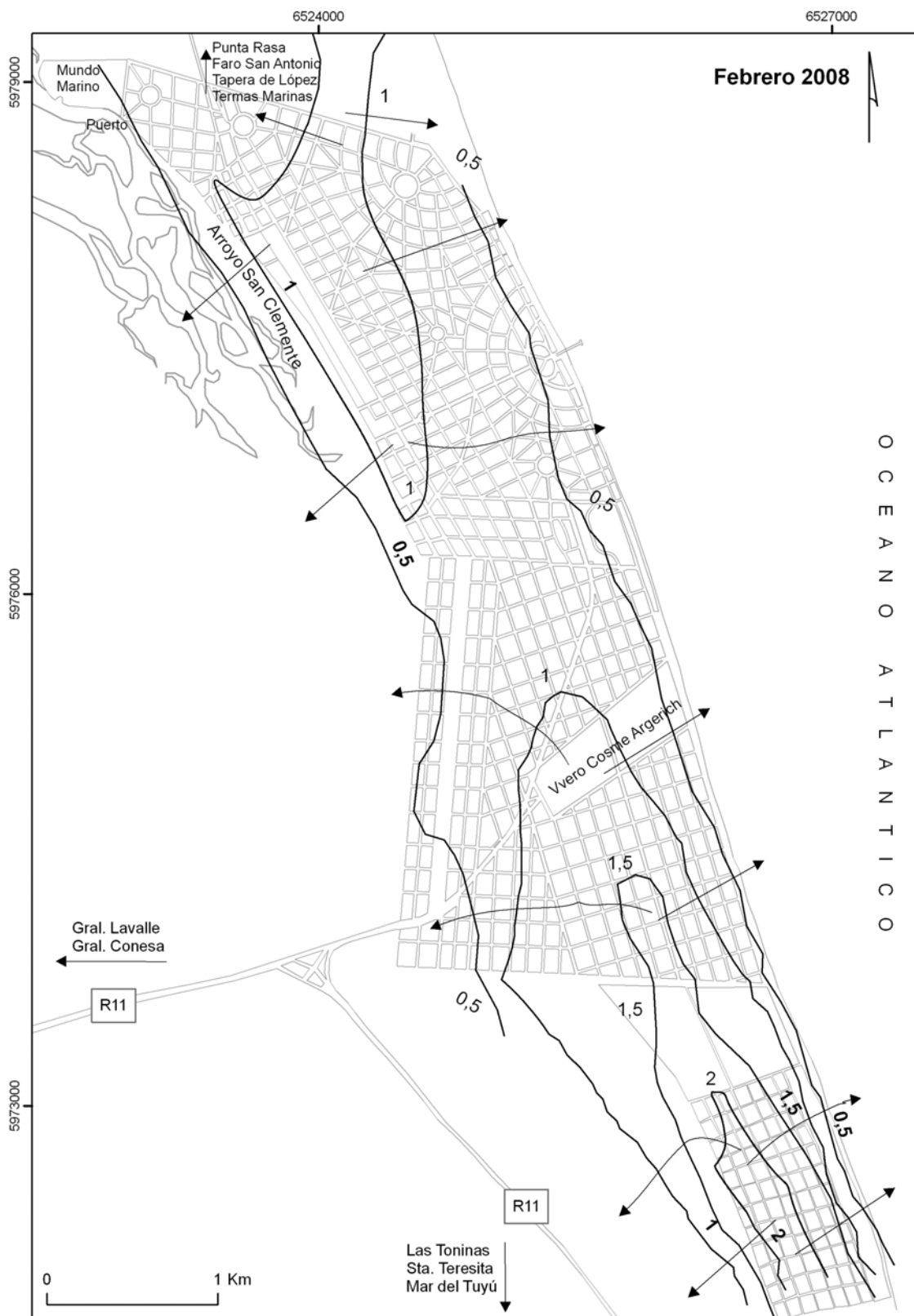


Figura 2. Mapa de flujo subterráneo para febrero de 2008 (curvas en m s.n.m.)



Figura 3. Mapa de flujo subterráneo para marzo de 2008 (curvas en m s.n.m.)

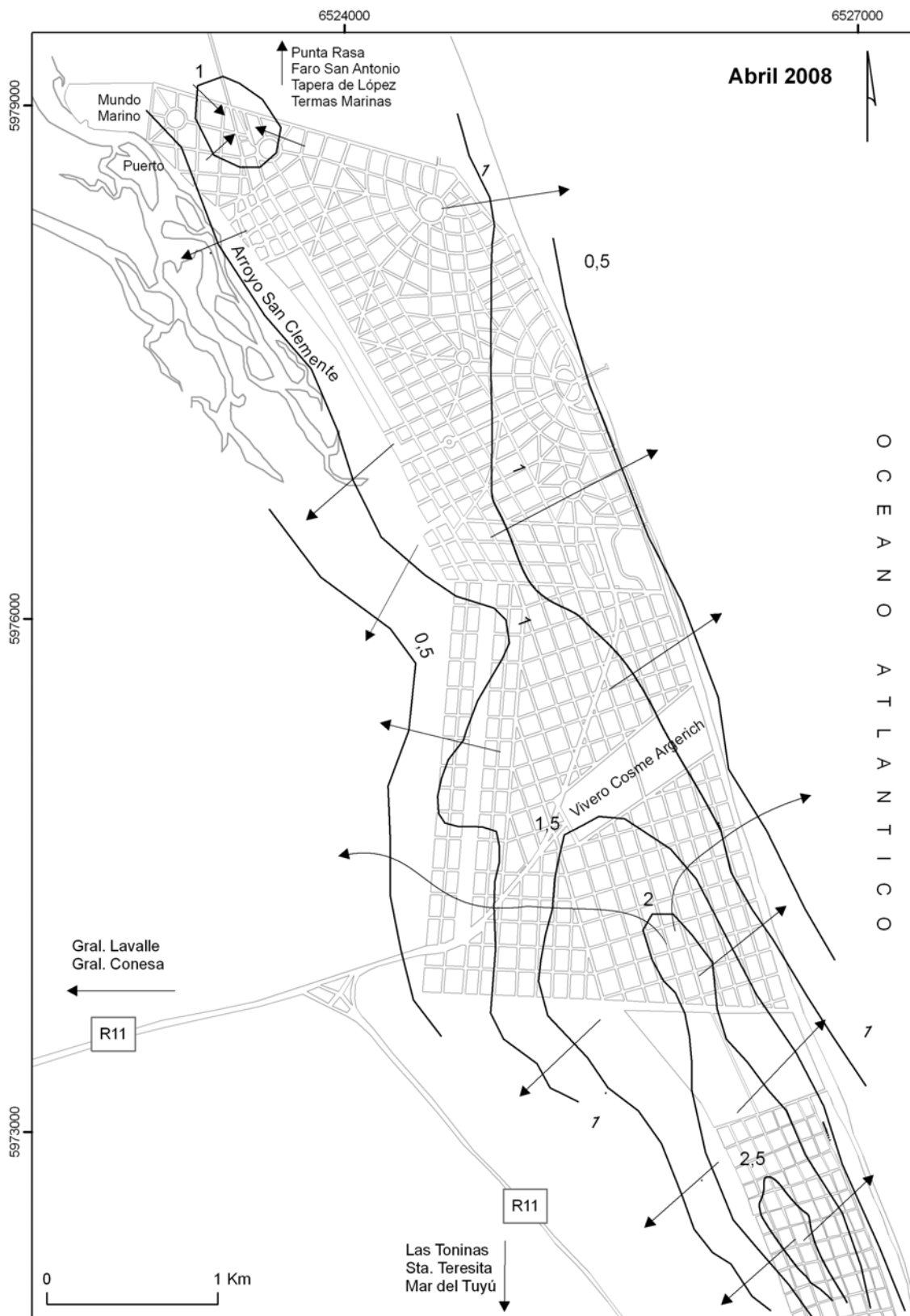


Figura 4. Mapa de flujo subterráneo para abril de 2008 (curvas en m.s.n.m.)

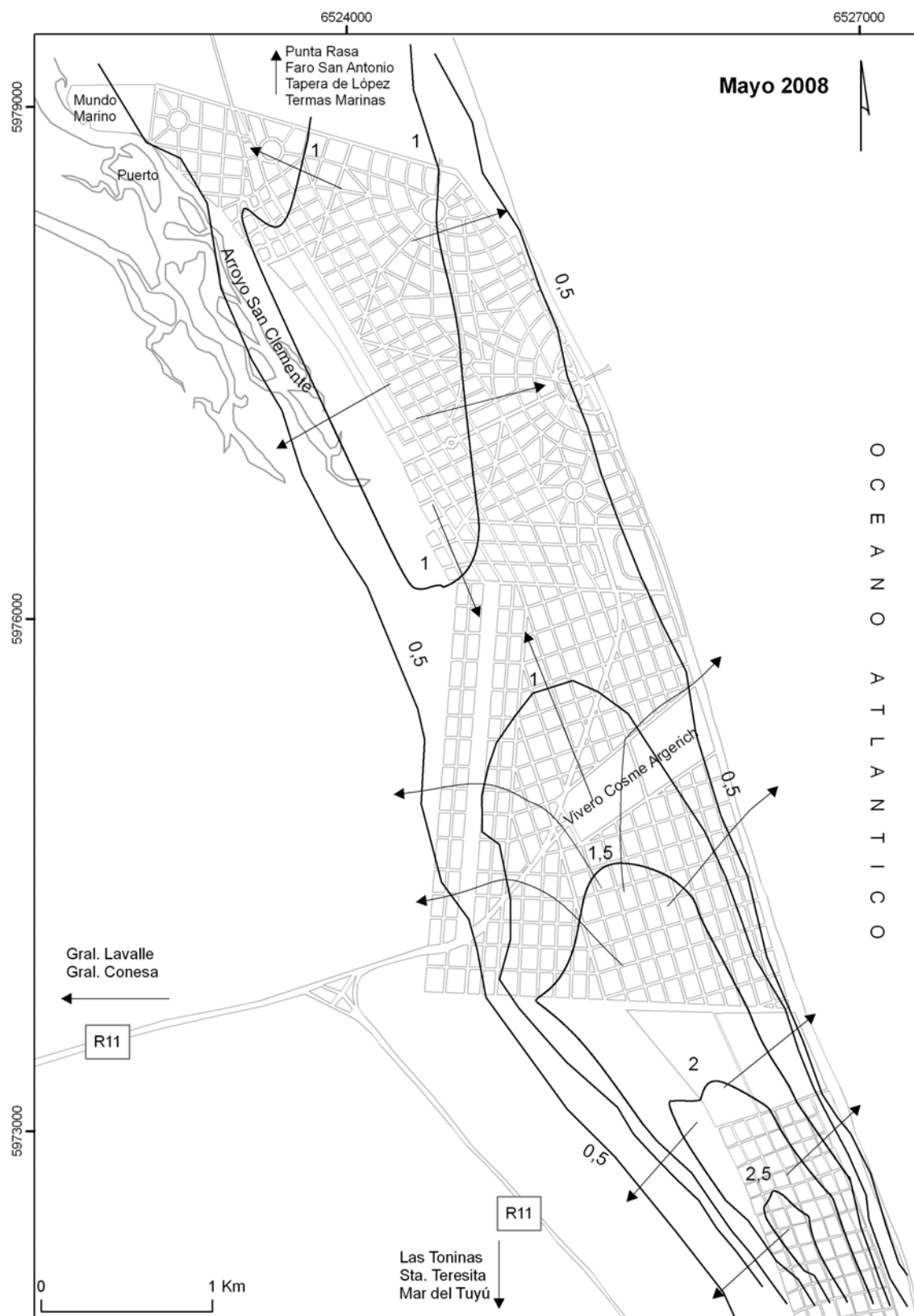


Figura 5. Mapa de flujo subterráneo para mayo de 2008 (curvas en m s.n.m.)

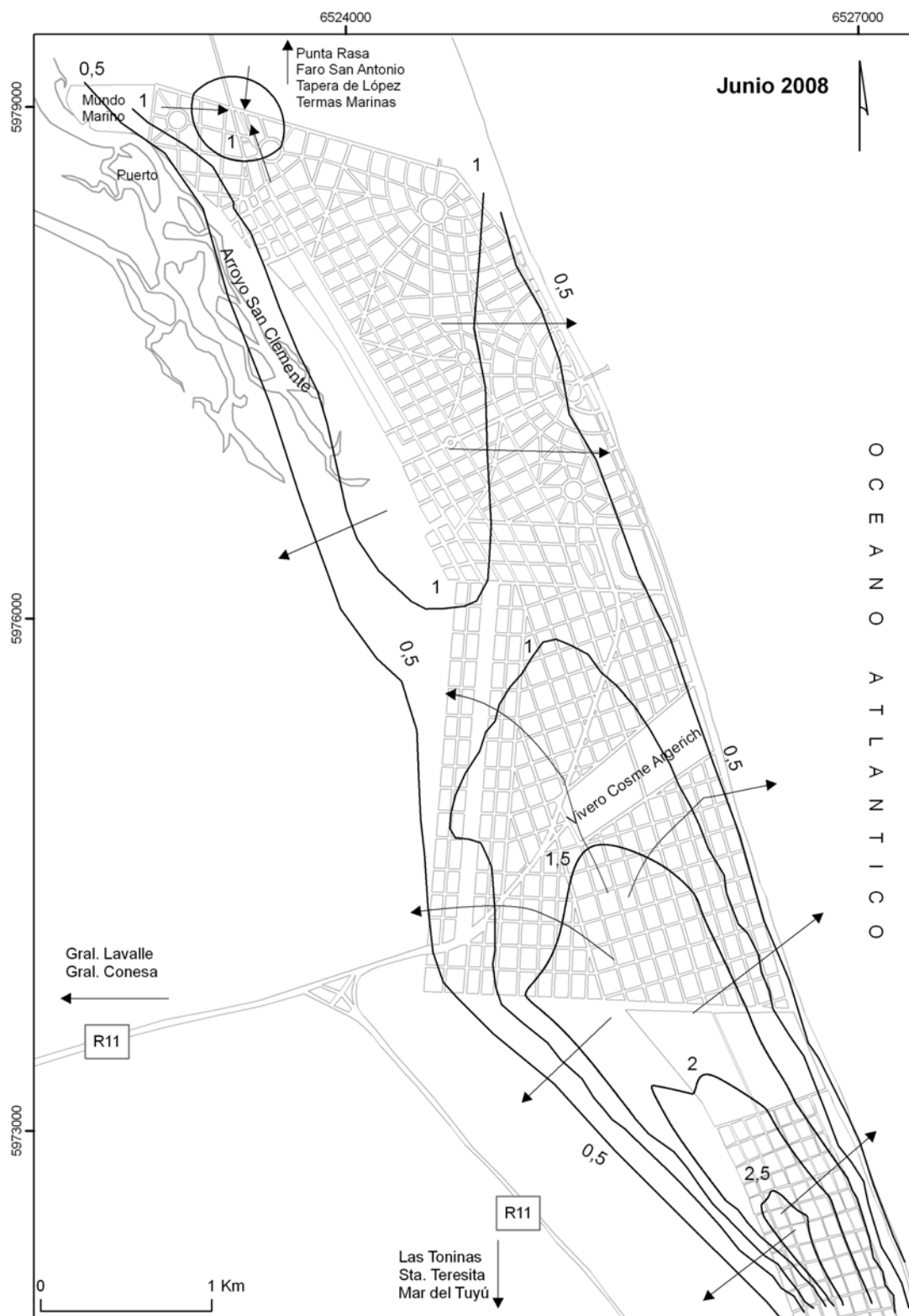


Figura 6. Mapa de flujo subterráneo para junio de 2008 (curvas en m s.n.m.)

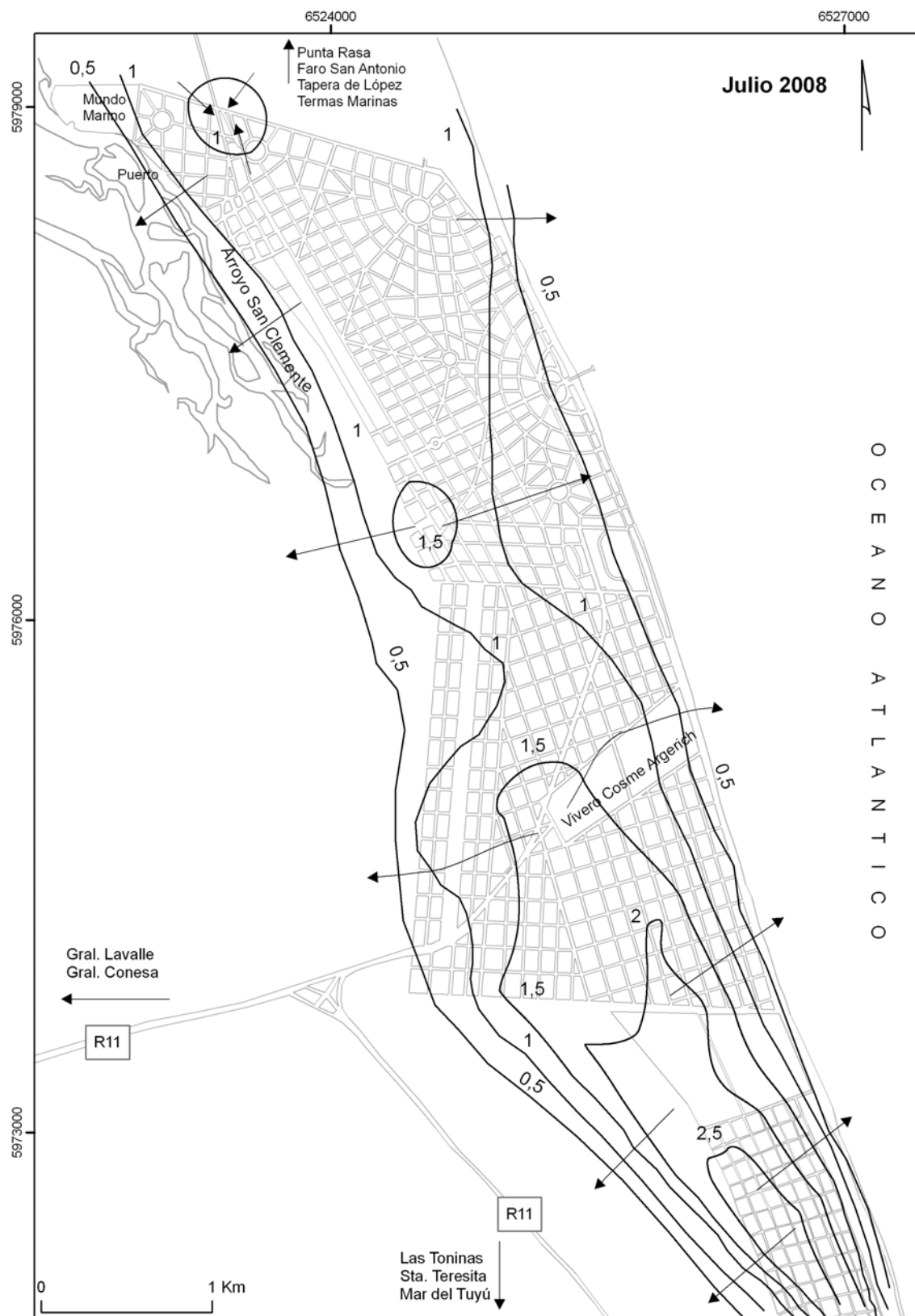


Figura 7. Mapa de flujo subterráneo para julio de 2008 (curvas en m s.n.m.)

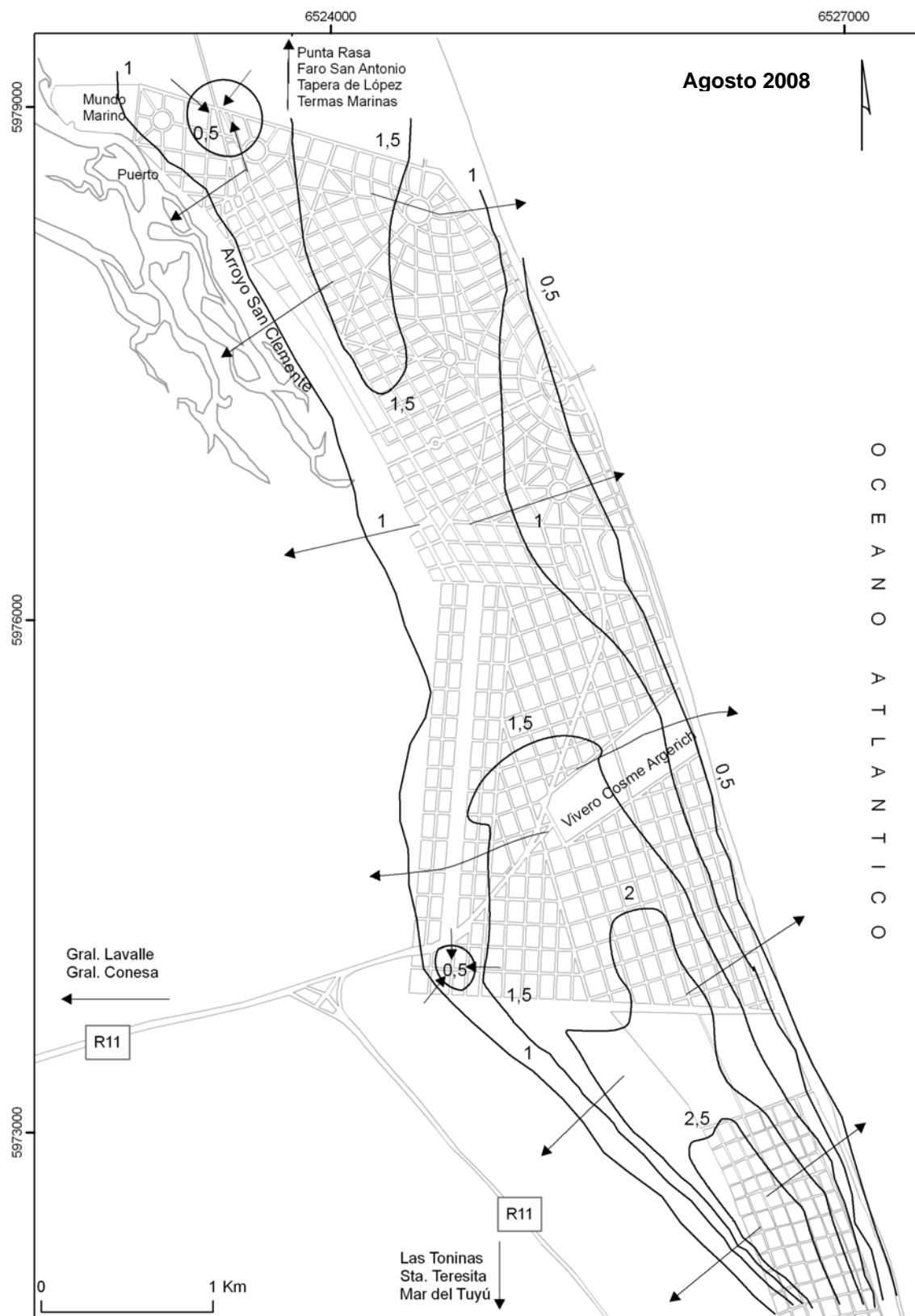


Figura 8. Mapa de flujo subterráneo para agosto de 2008 (curvas en m s.n.m.)

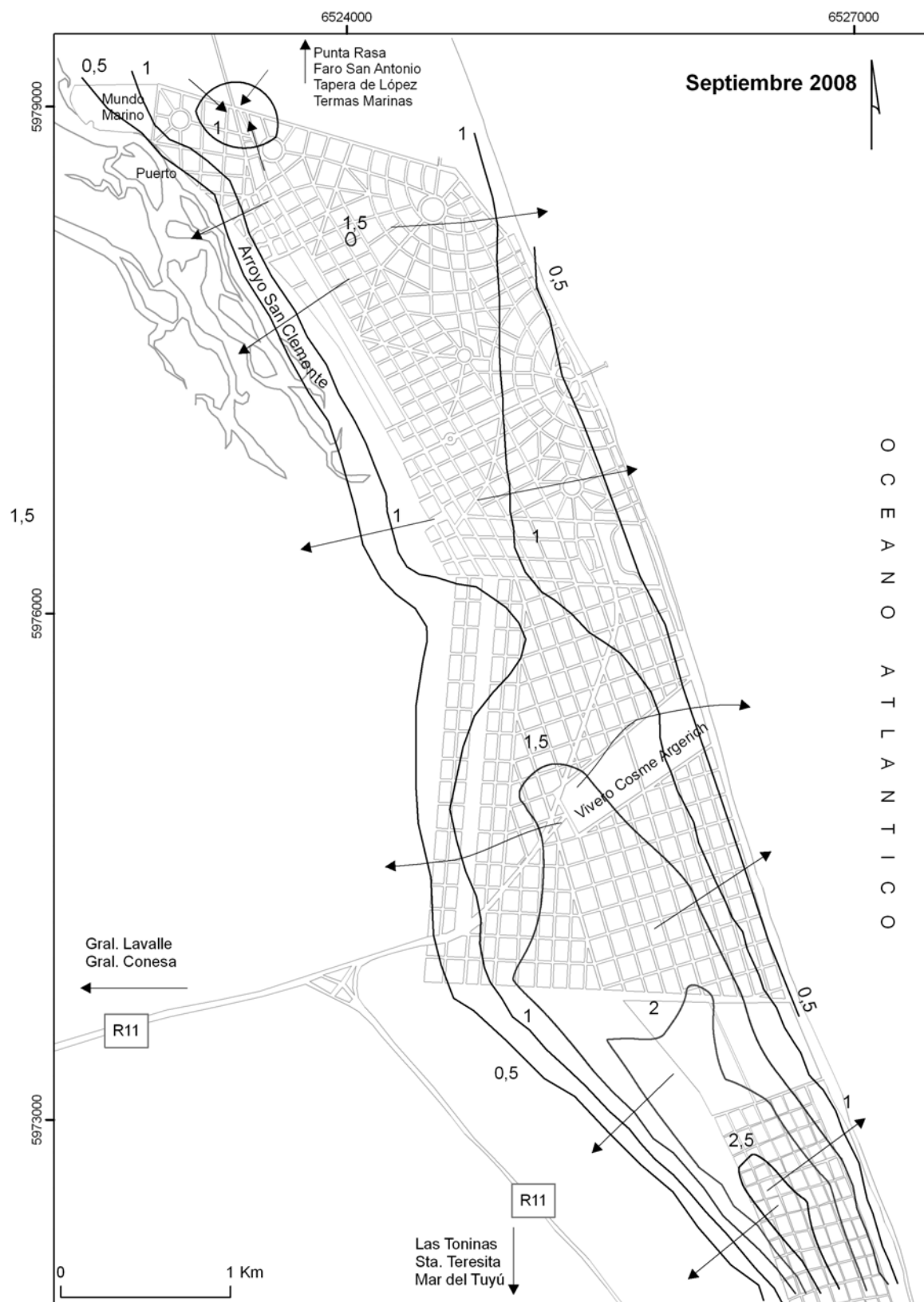


Figura 9. Mapa de flujo subterráneo para septiembre de 2008 (curvas en m s.n.m.)

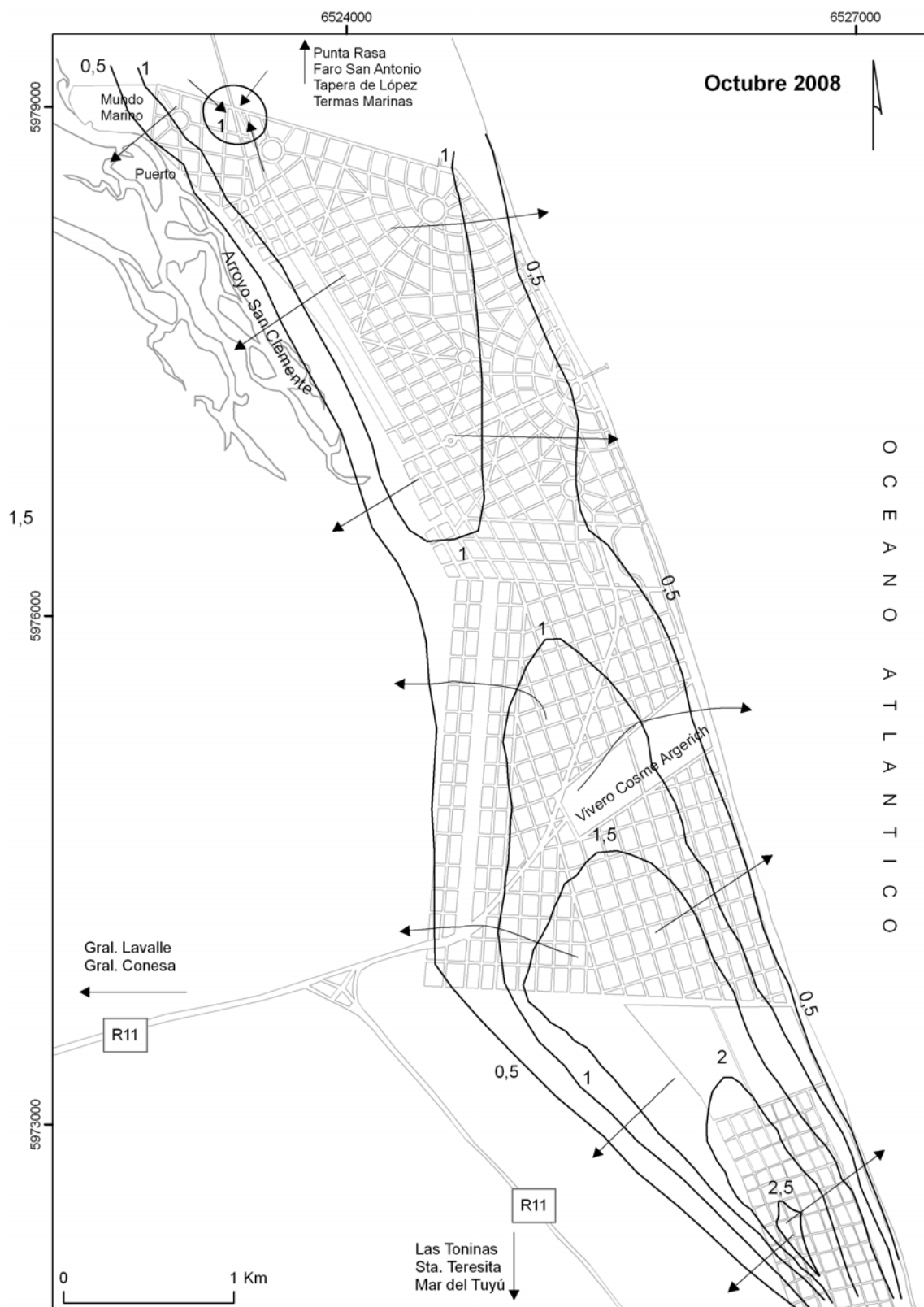


Figura 10. Mapa de flujo subterráneo para octubre de 2008 (curvas en m s.n.m.)

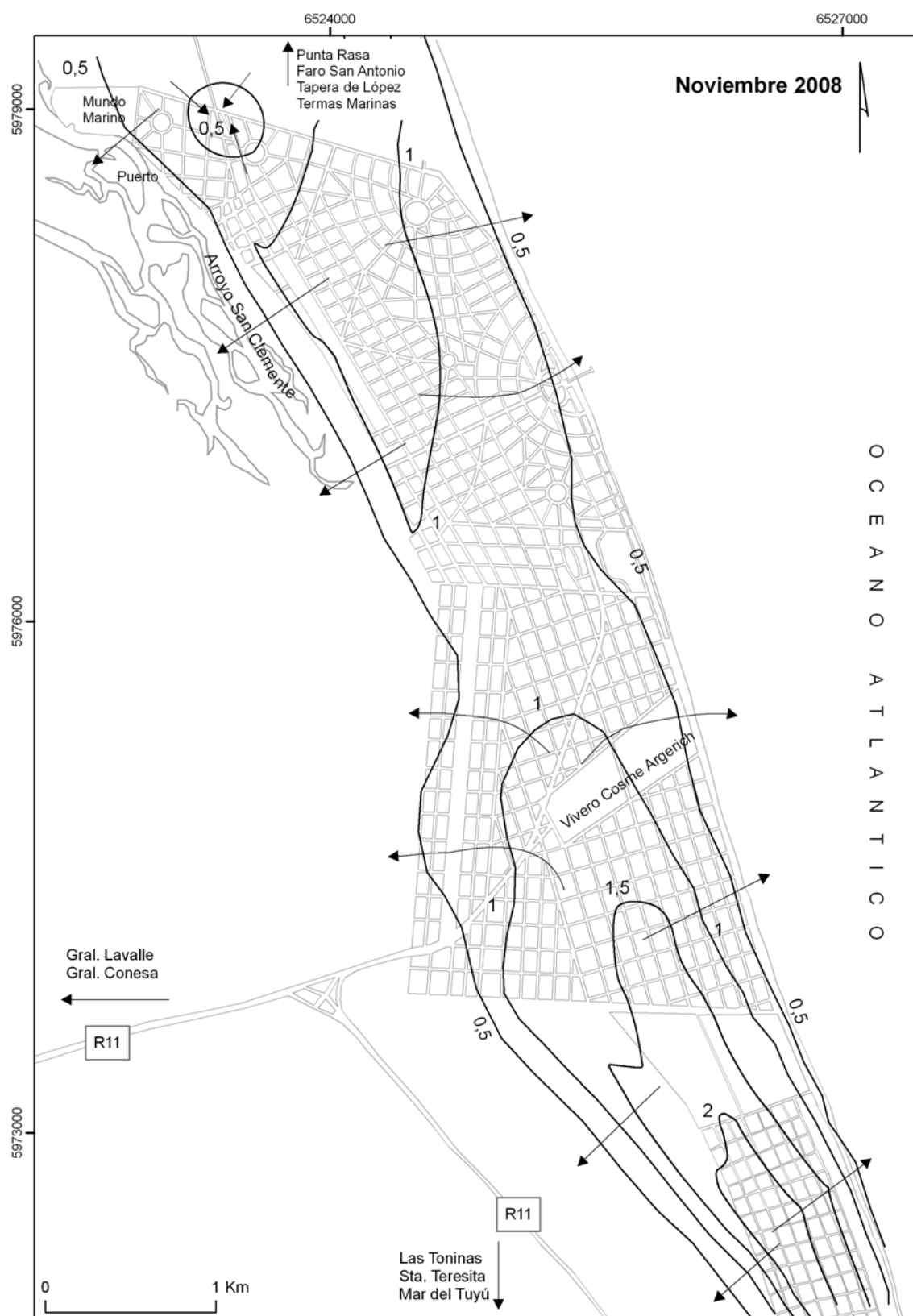


Figura 11. Mapa de flujo subterráneo para noviembre de 2008 (curvas en m s.n.m.)

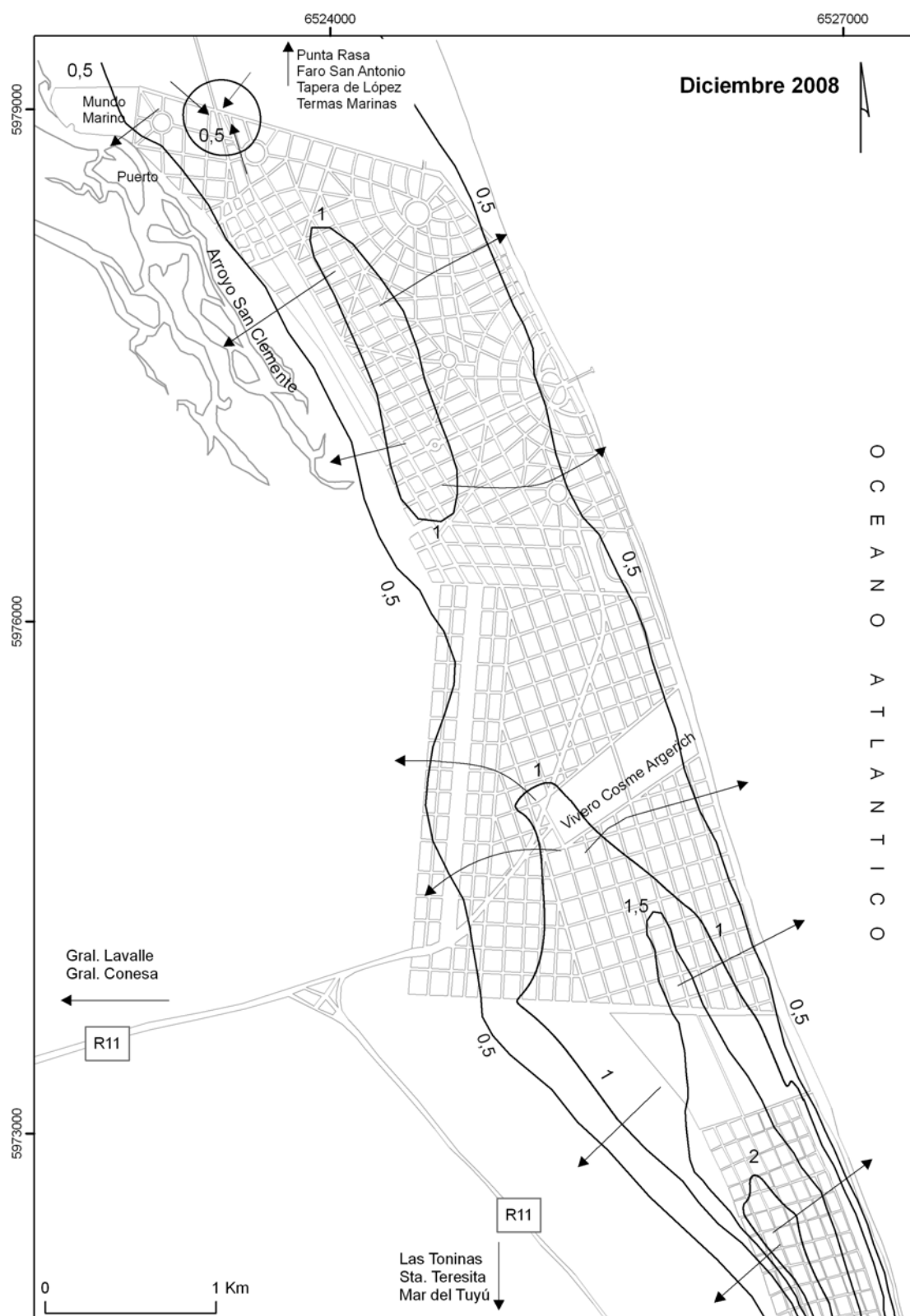


Figura 12. Mapa de flujo subterráneo para diciembre de 2008 (curvas en m s.n.m.)

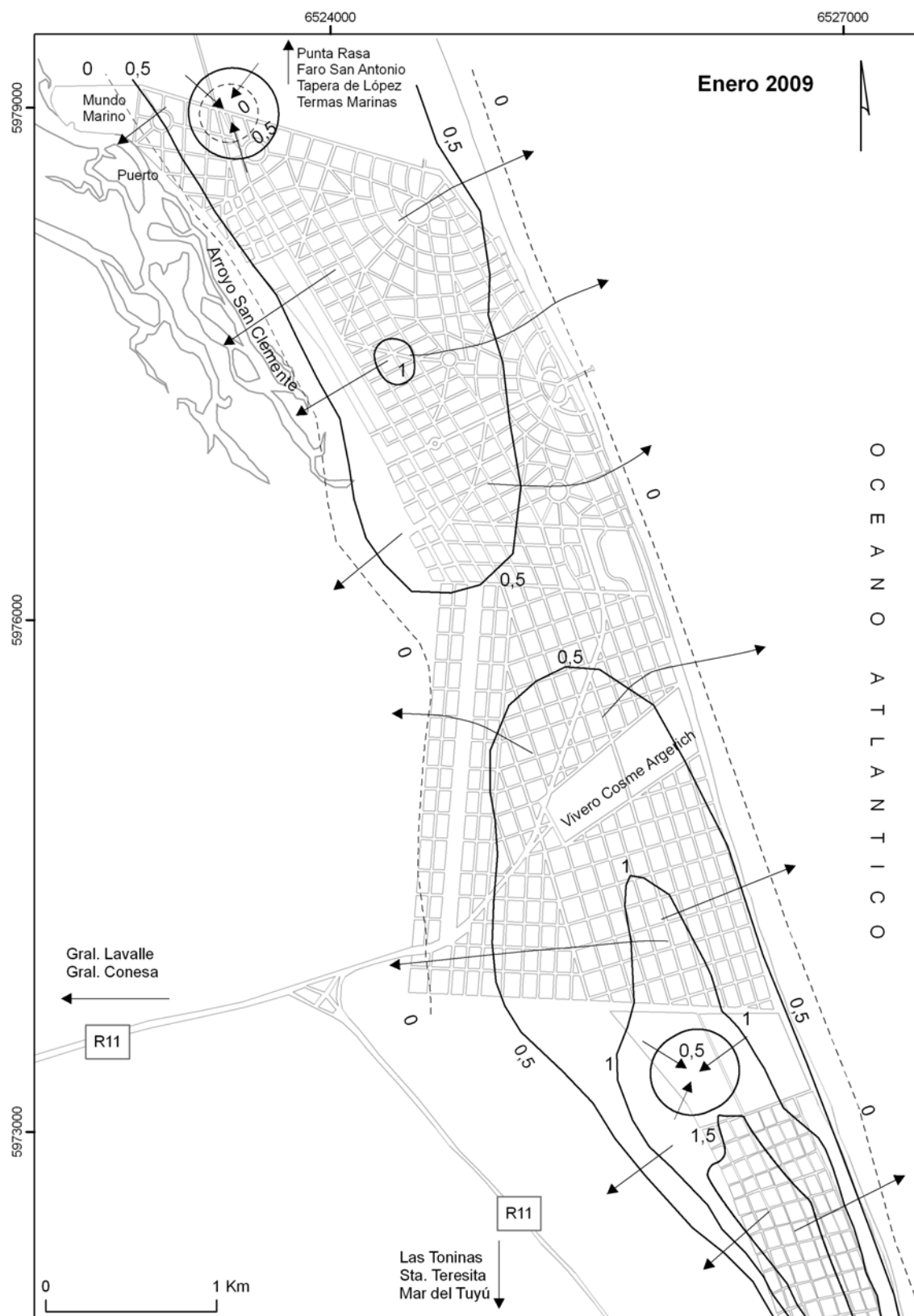


Figura 13. Mapa de flujo subterráneo para enero de 2009 (curvas en m s.n.m.)

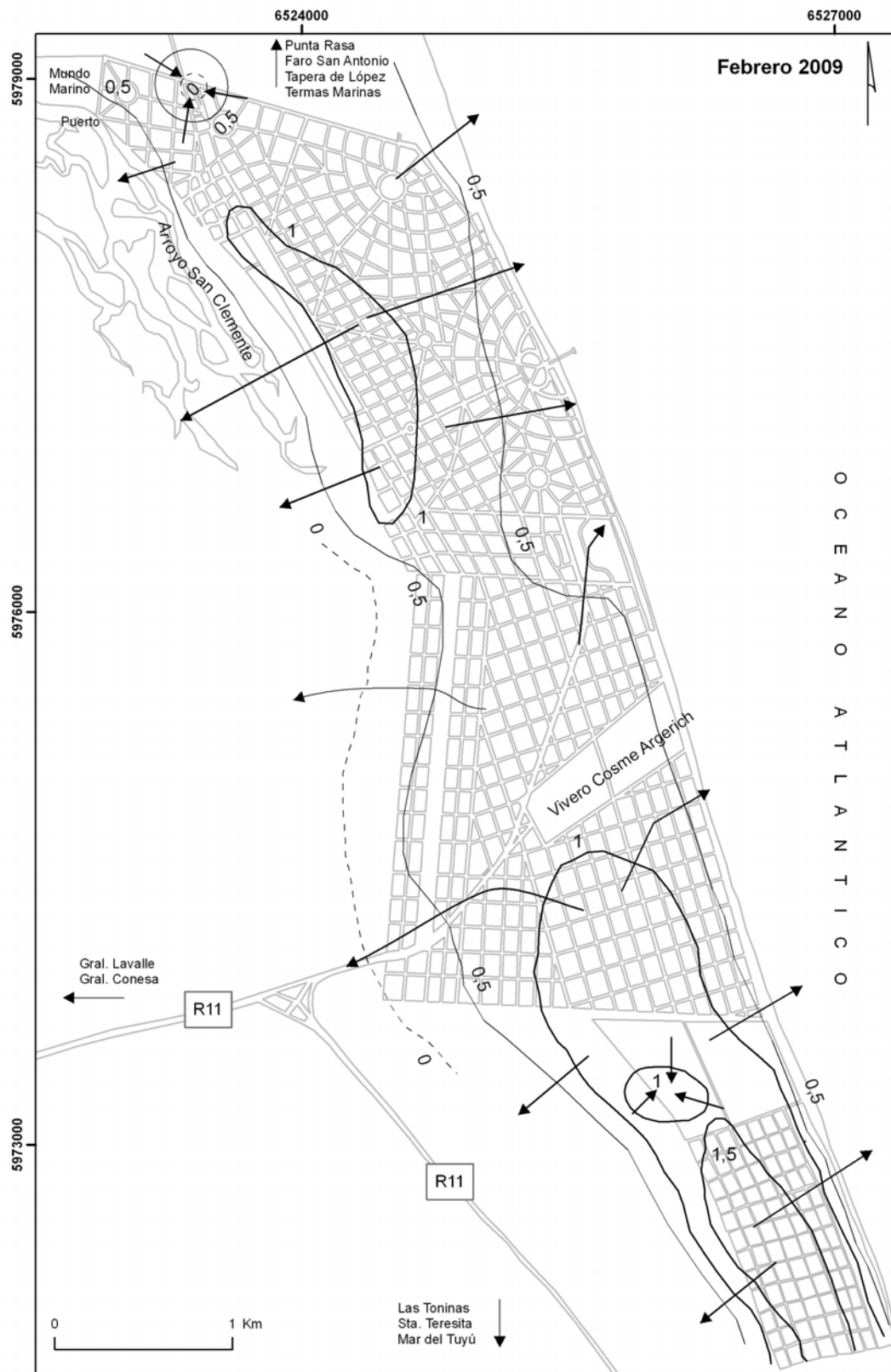


Figura 14. Mapa de flujo subterráneo para febrero de 2009 (curvas en m s.n.m.)

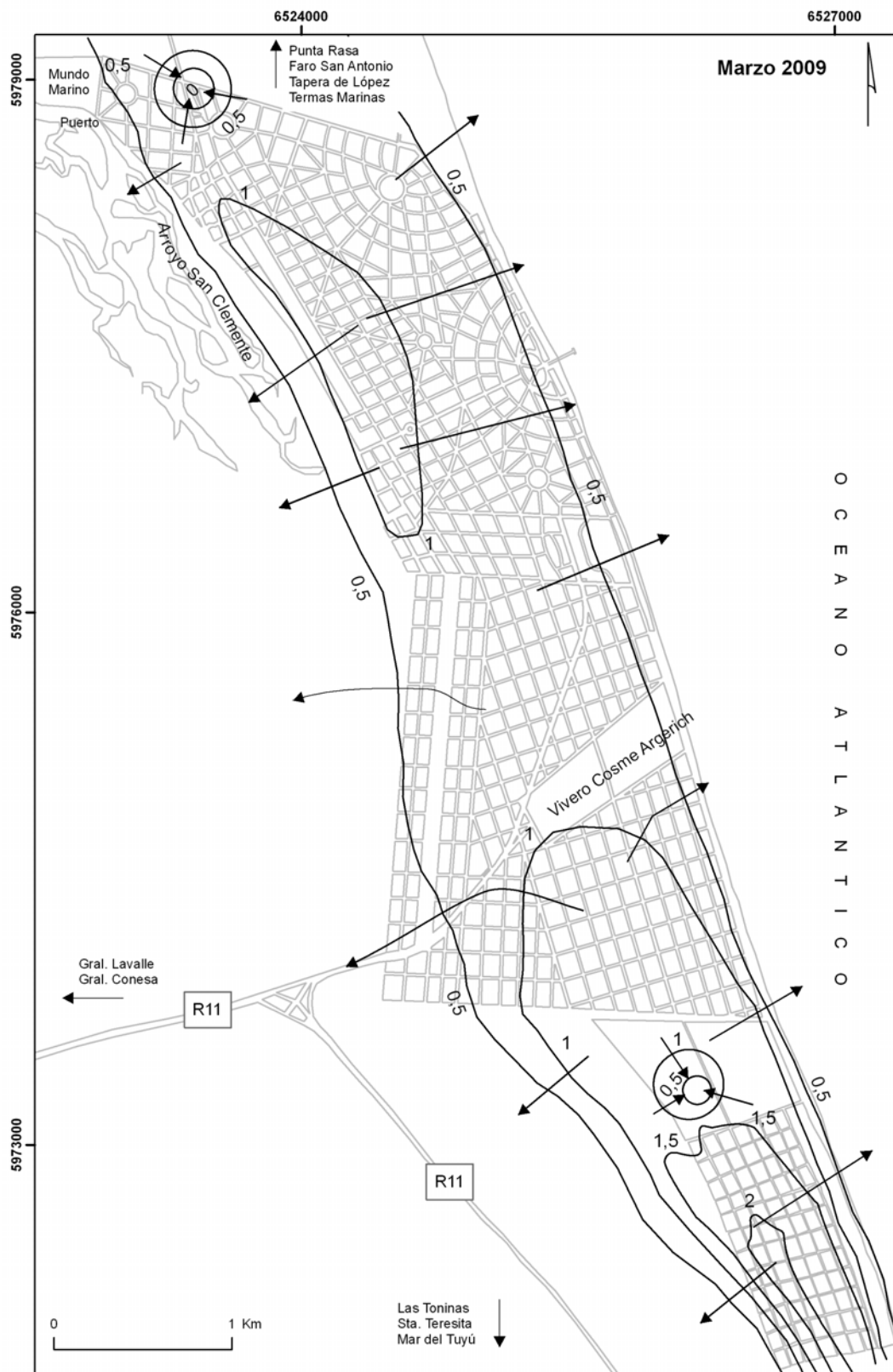


Figura 15. Mapa de flujo subterráneo para marzo de 2009 (curvas en m s.n.m.)

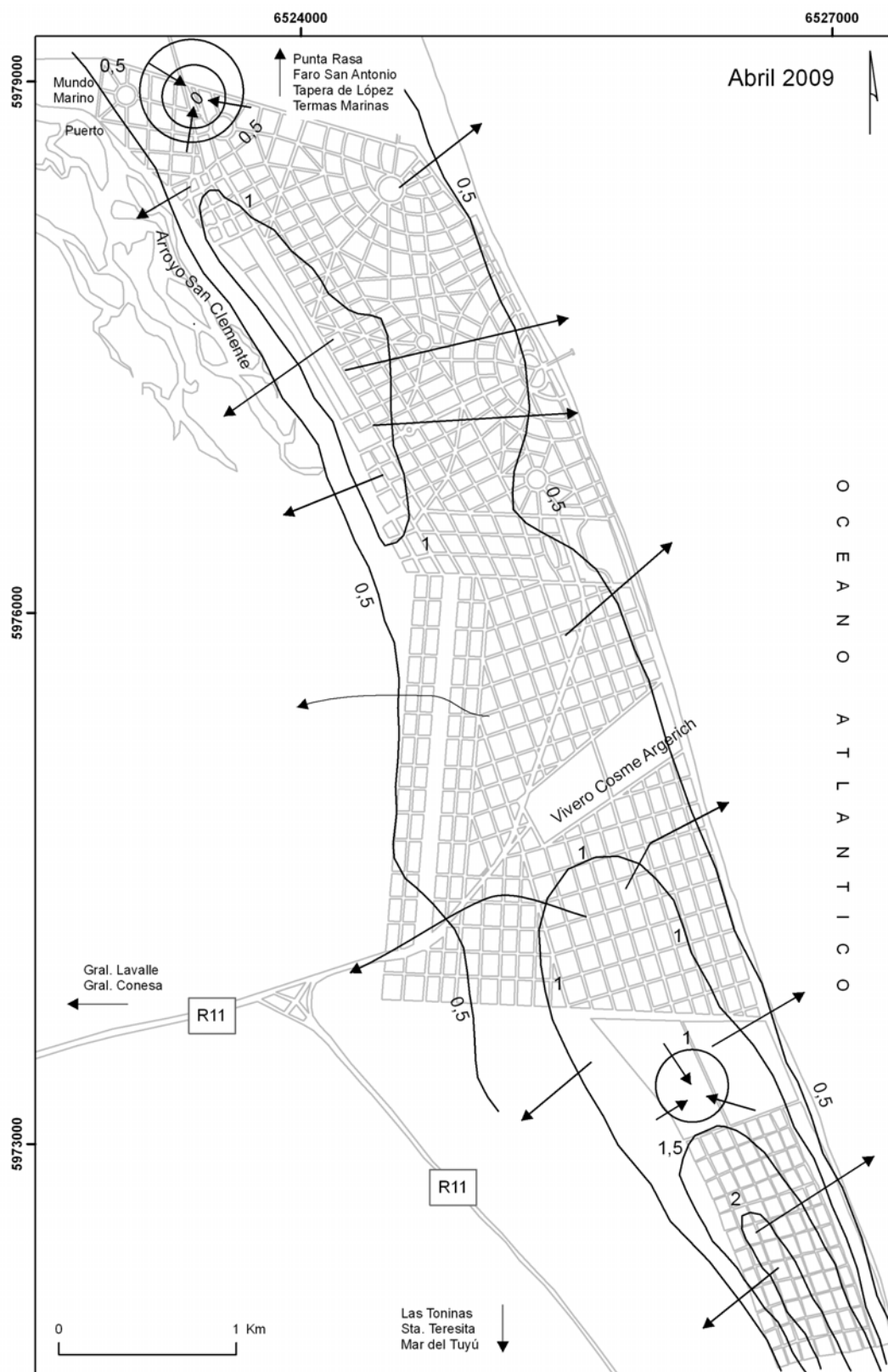


Figura 16.. Mapa de flujo subterráneo para abril de 2009 (curvas en m s.n.m.)

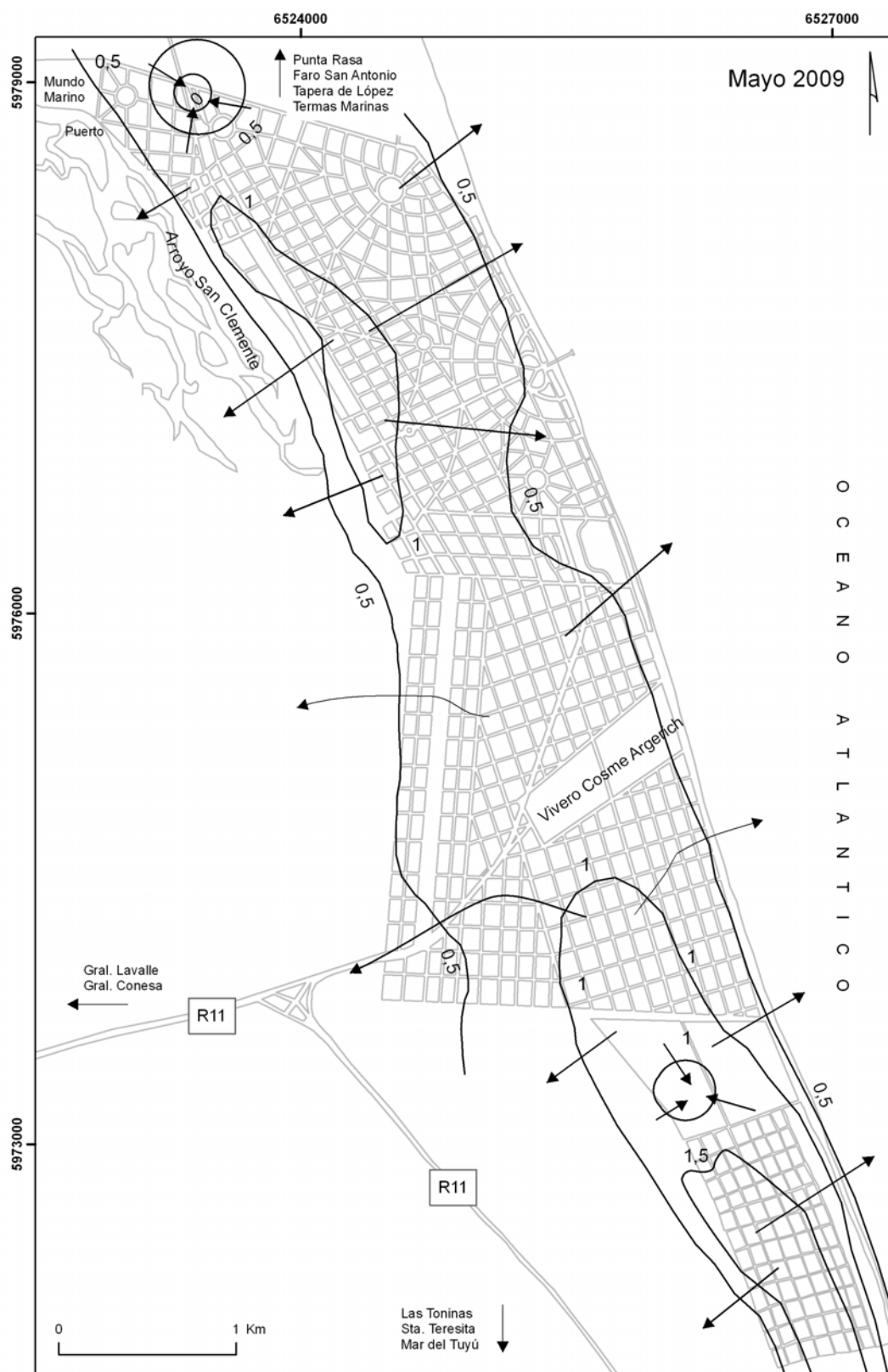


Figura 17. Mapa de flujo subterráneo para mayo de 2009 (curvas en m s.n.m.)

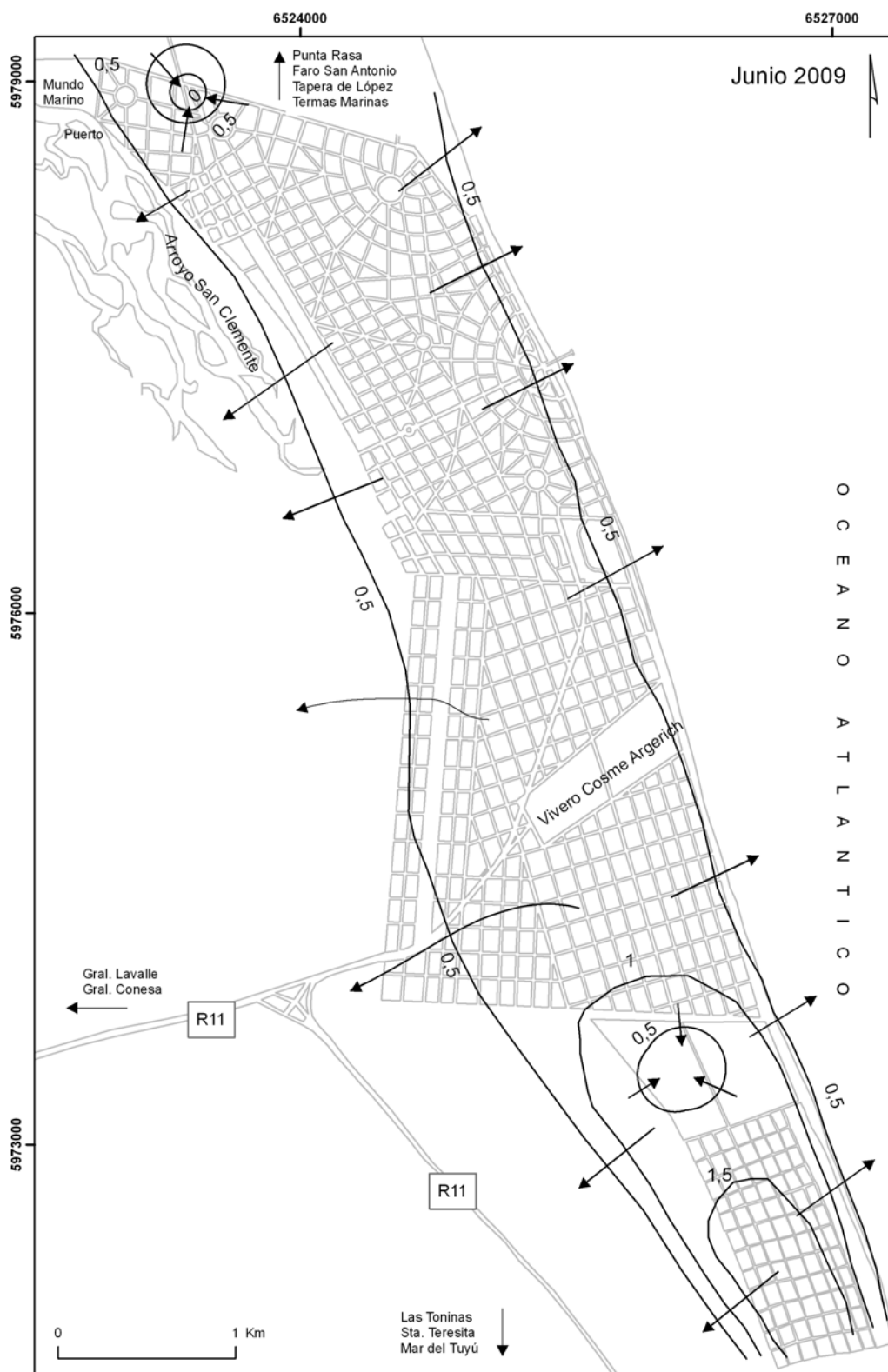


Figura 18. Mapa de flujo subterráneo para junio de 2009 (curvas en m s.n.m.)

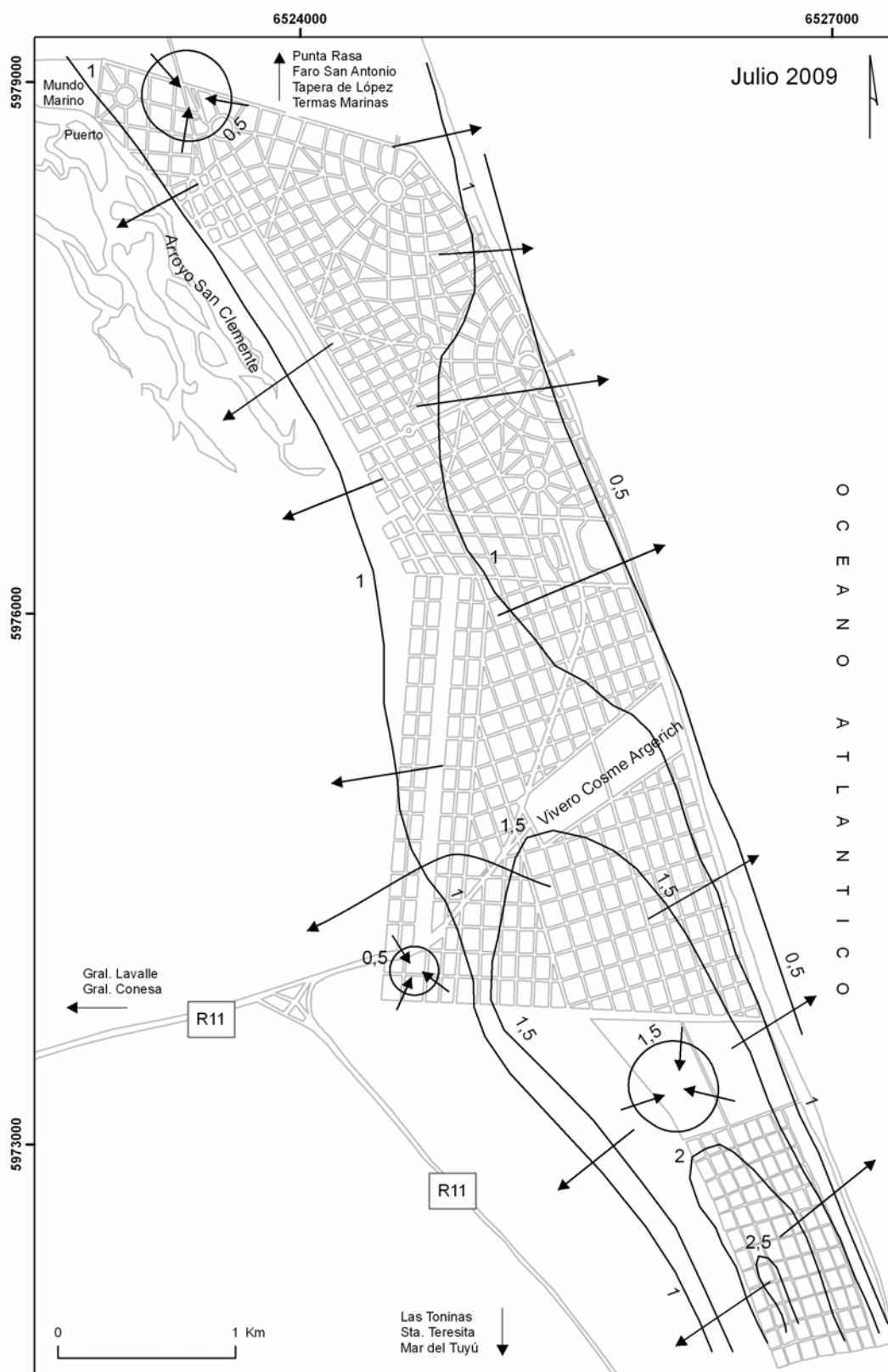


Figura 19. Mapa de flujo subterráneo para julio de 2009 (curvas en m s.n.m.)

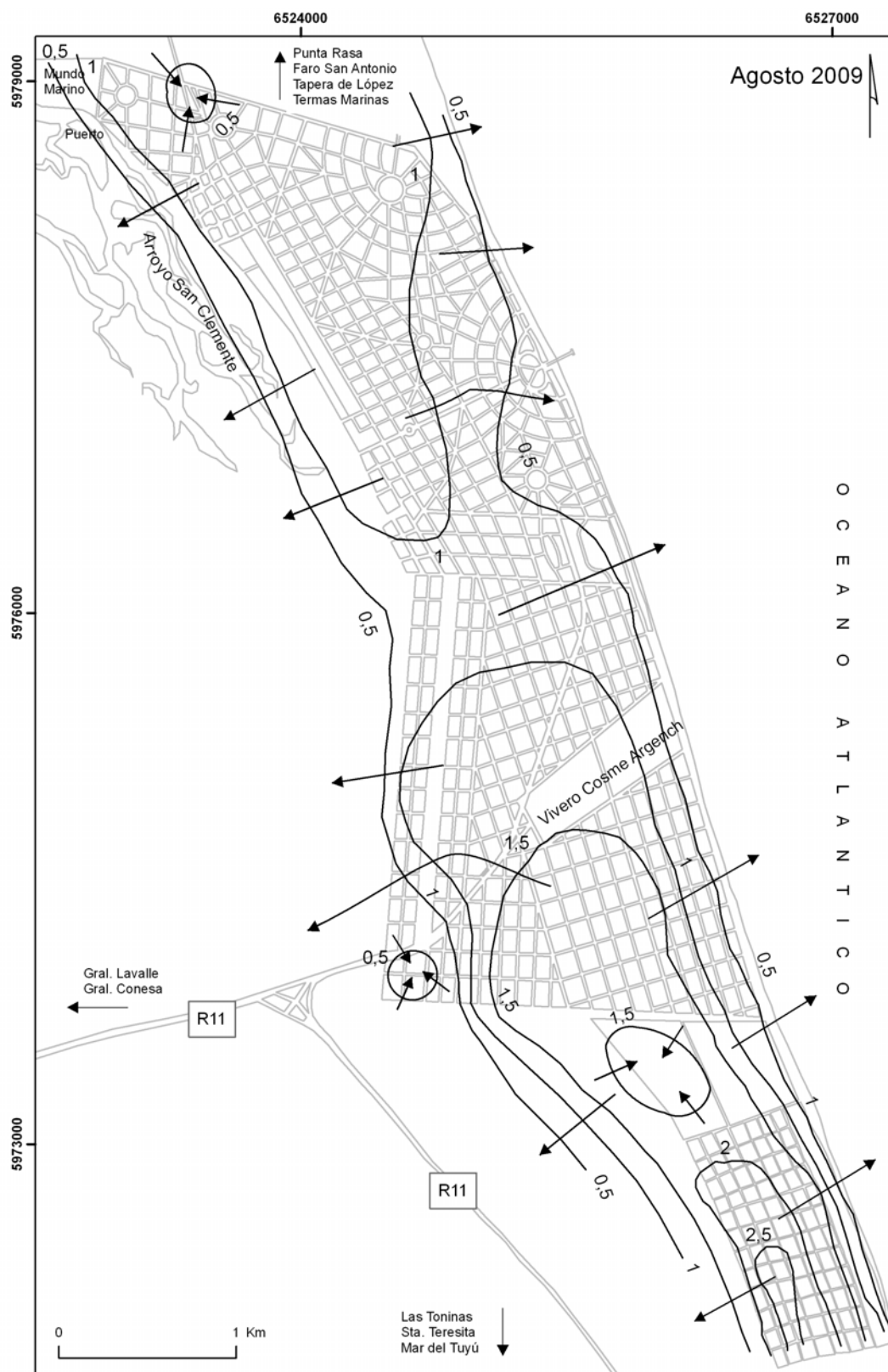


Figura 20. Mapa de flujo subterráneo para agosto de 2009 (curvas en m s.n.m.)

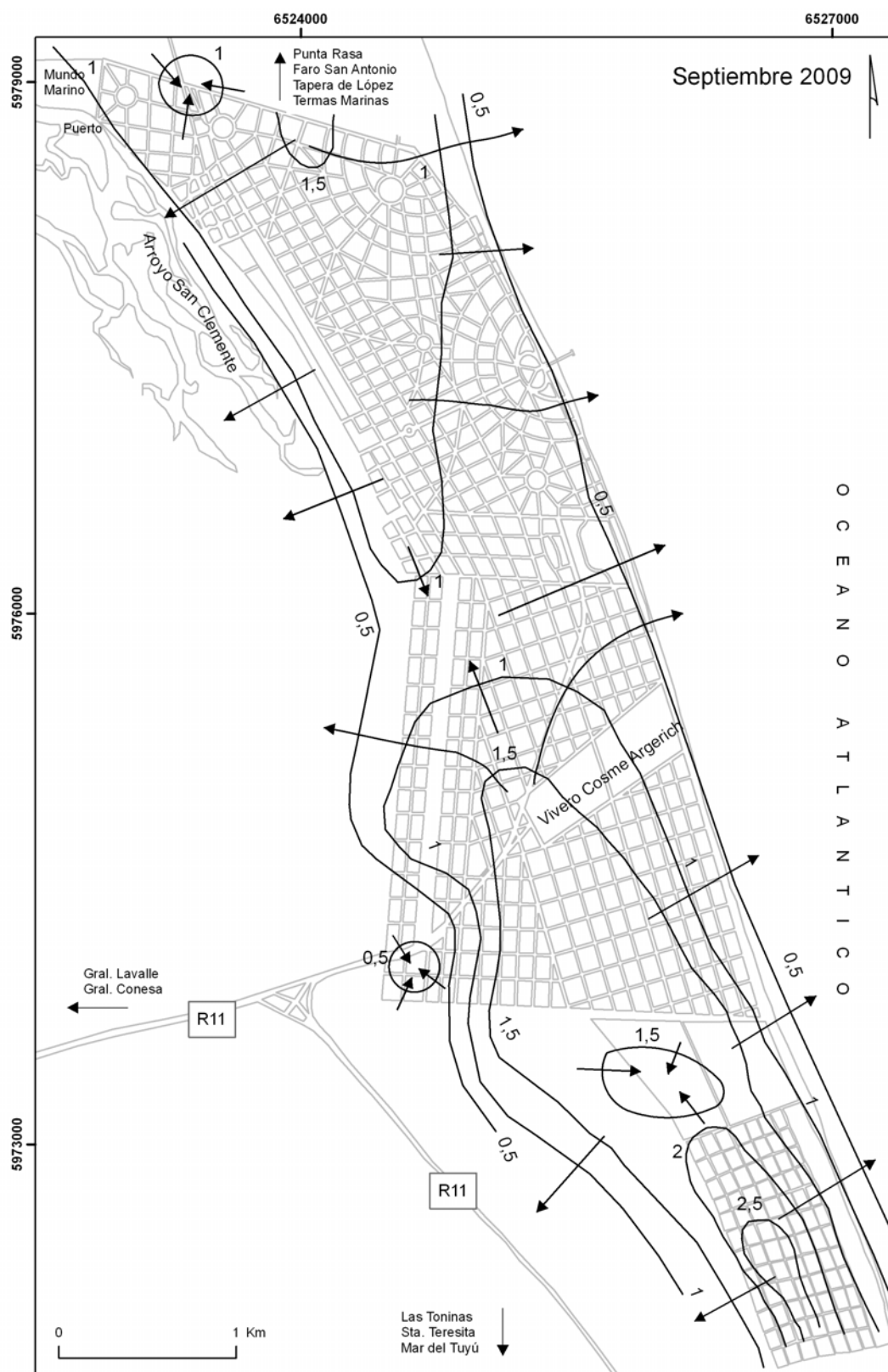


Figura 4.5.20. Mapa de flujo subterráneo para septiembre de 2009 (curvas en m s.n.m.)

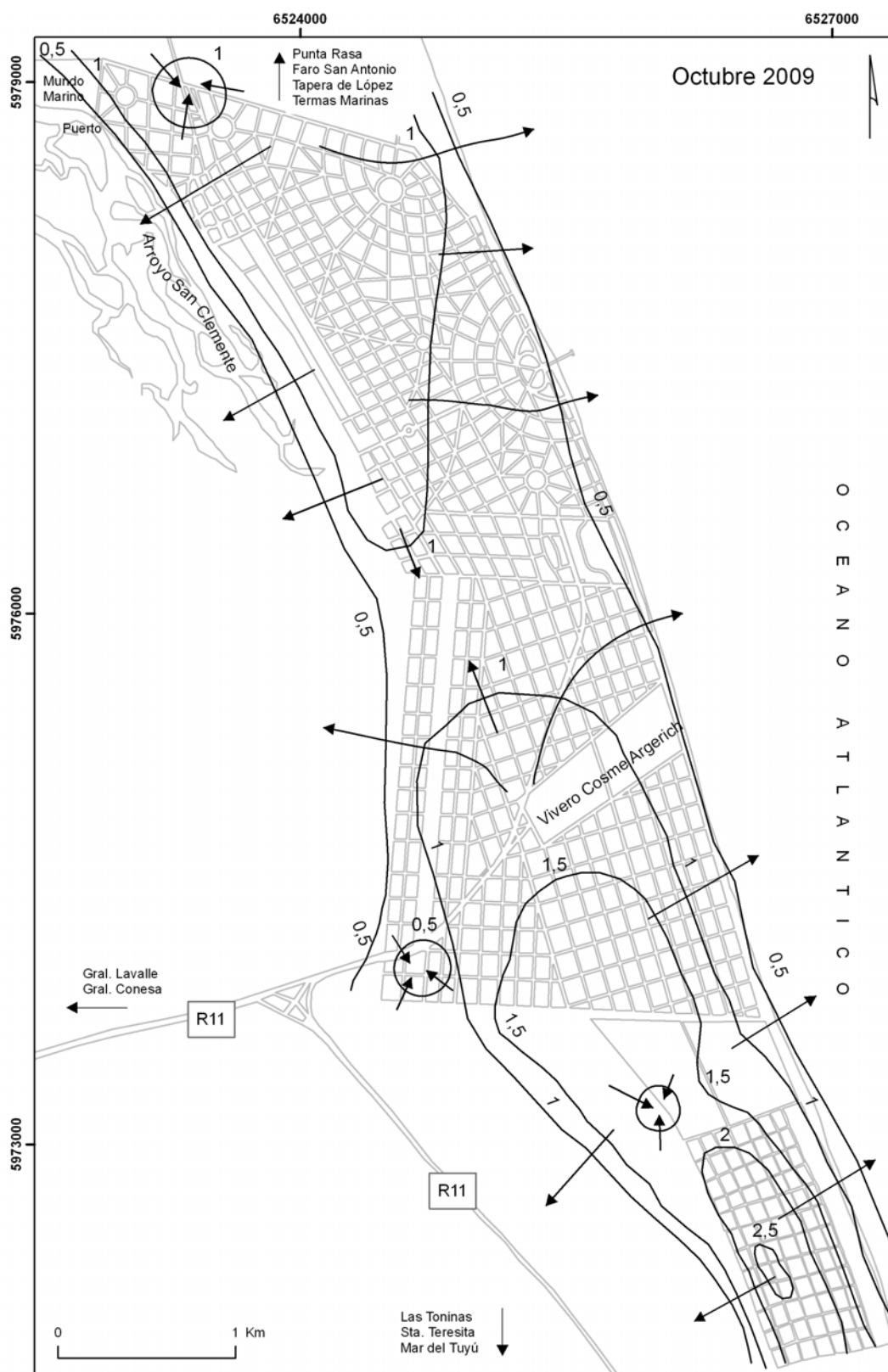


Figura 21. Mapa de flujo subterráneo para octubre de 2009 (curvas en m s.n.m.)

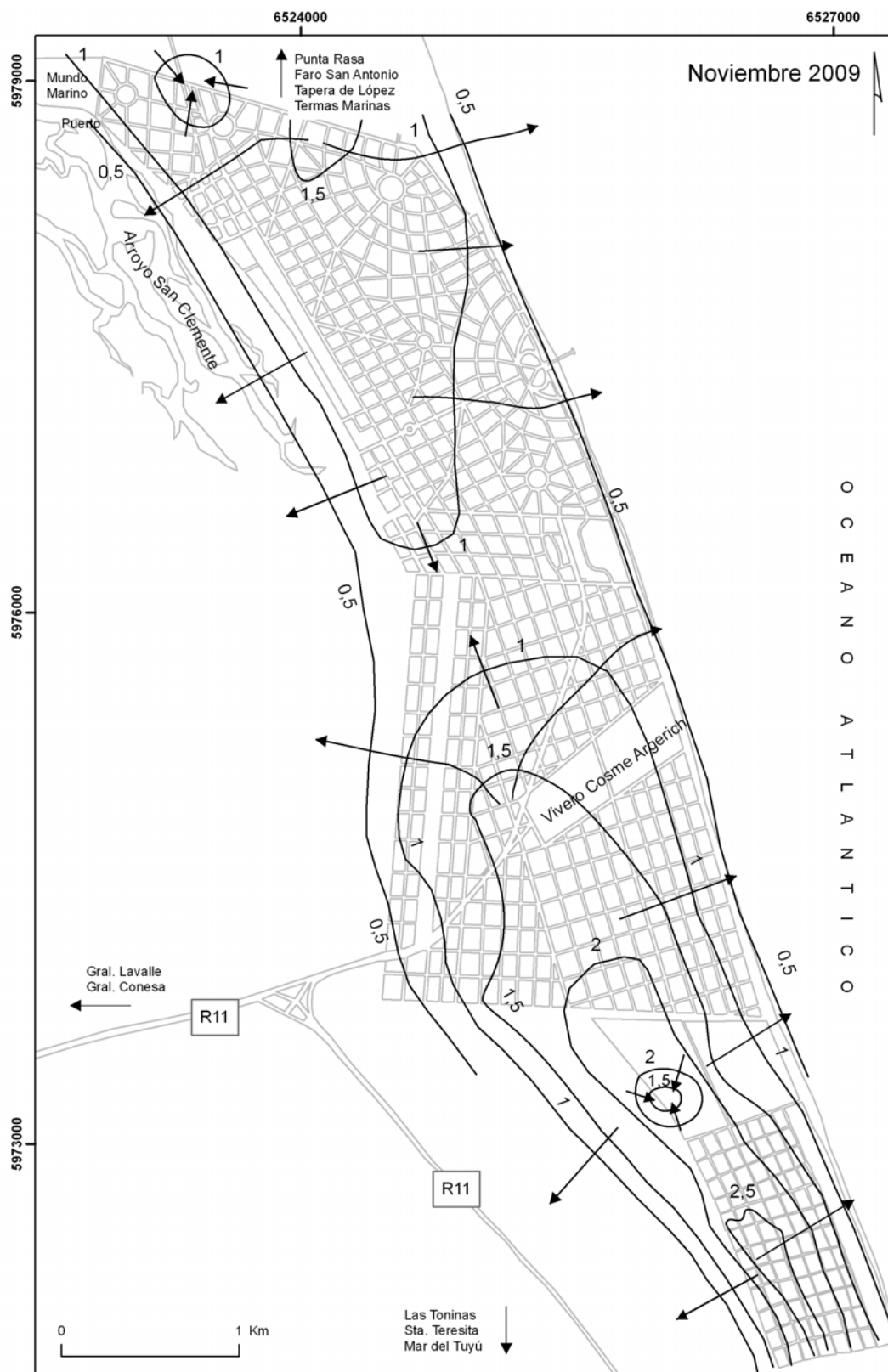


Figura 22. Mapa de flujo subterráneo para noviembre de 2009 (curvas en m s.n.m.)

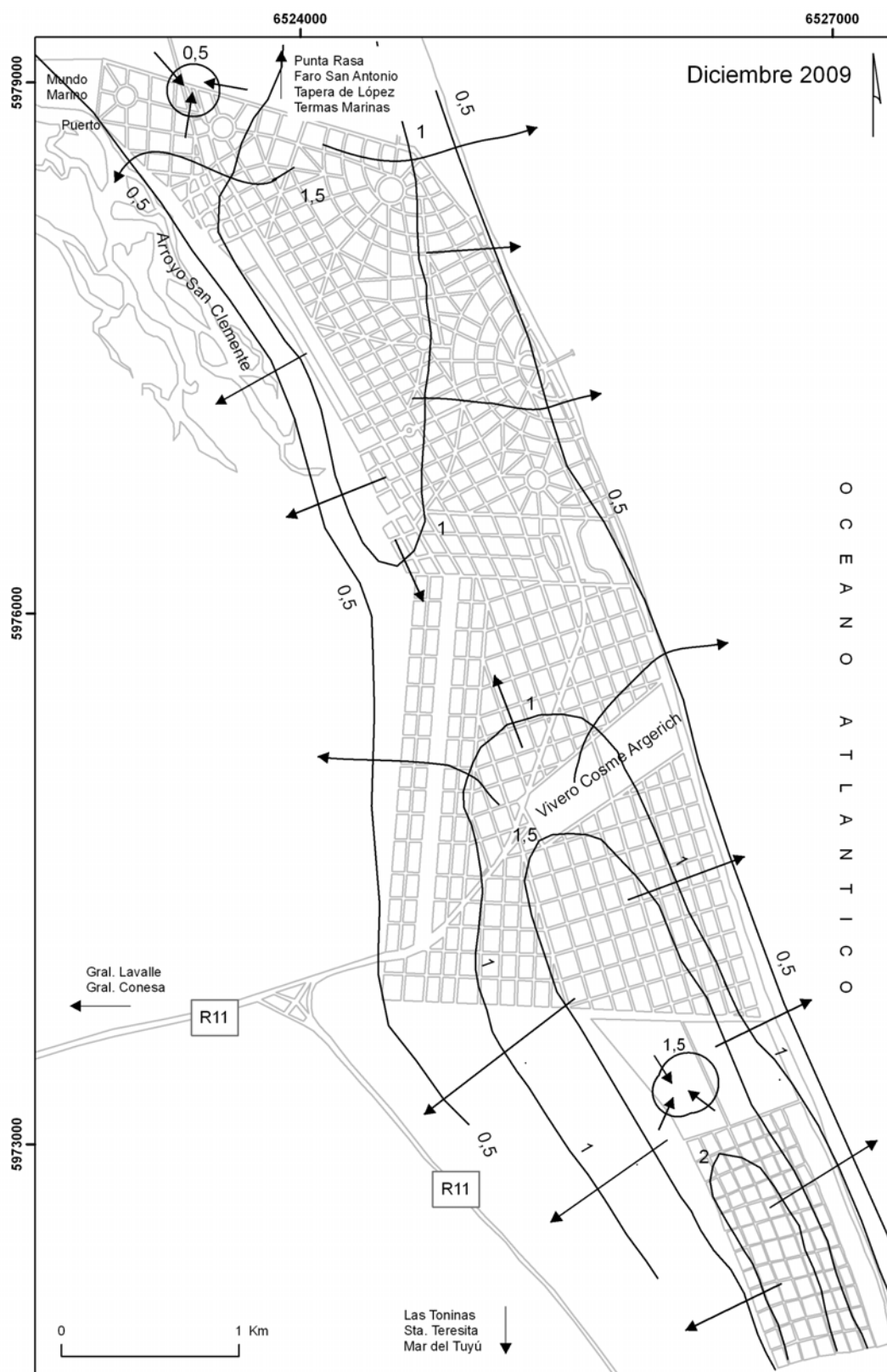


Figura 23. Mapa de flujo subterráneo para diciembre de 2009 (curvas en m s.n.m.)

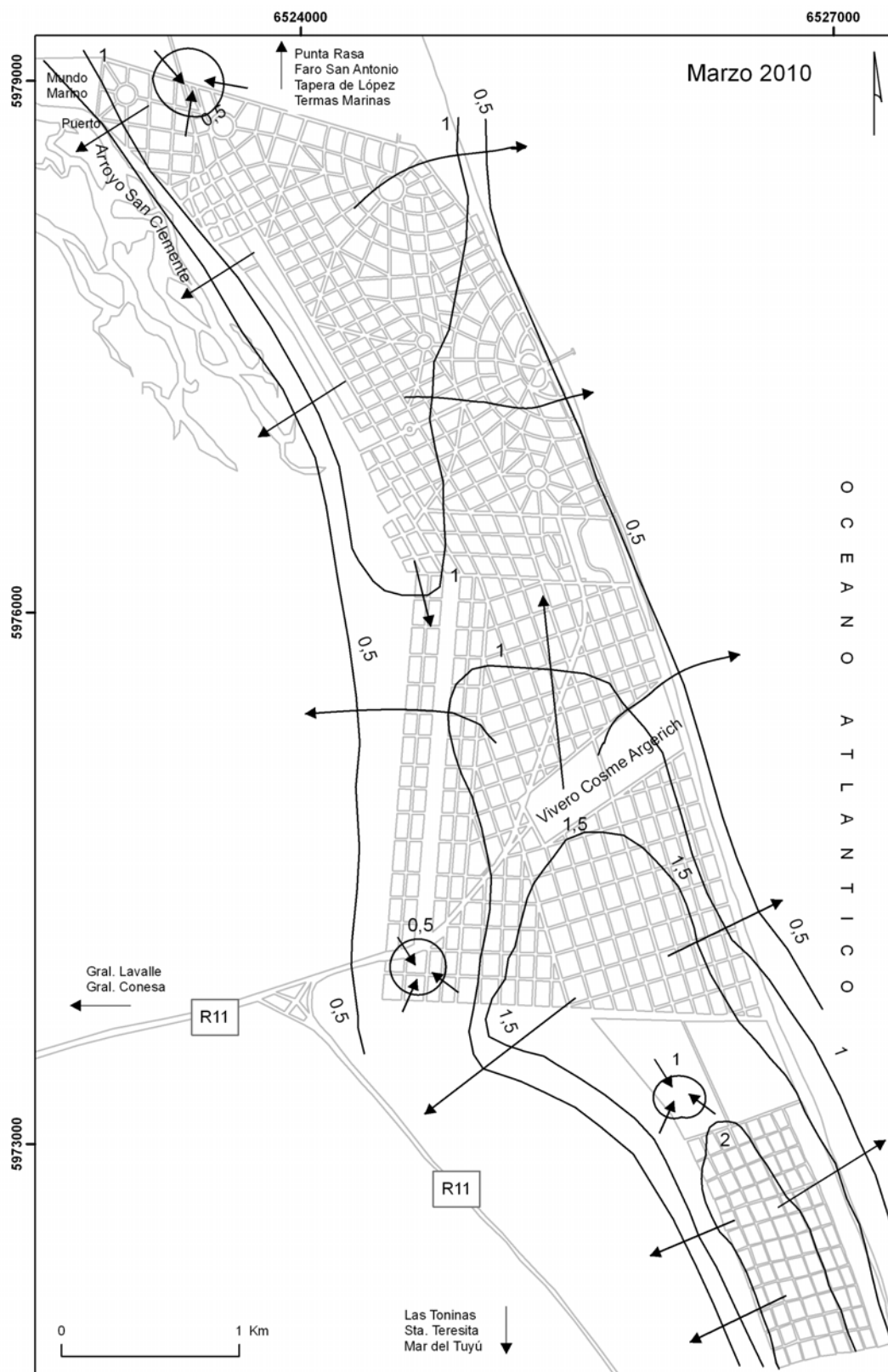


Figura 25. Mapa de flujo subterráneo para marzo de 2010 (curvas en m s.n.m.)

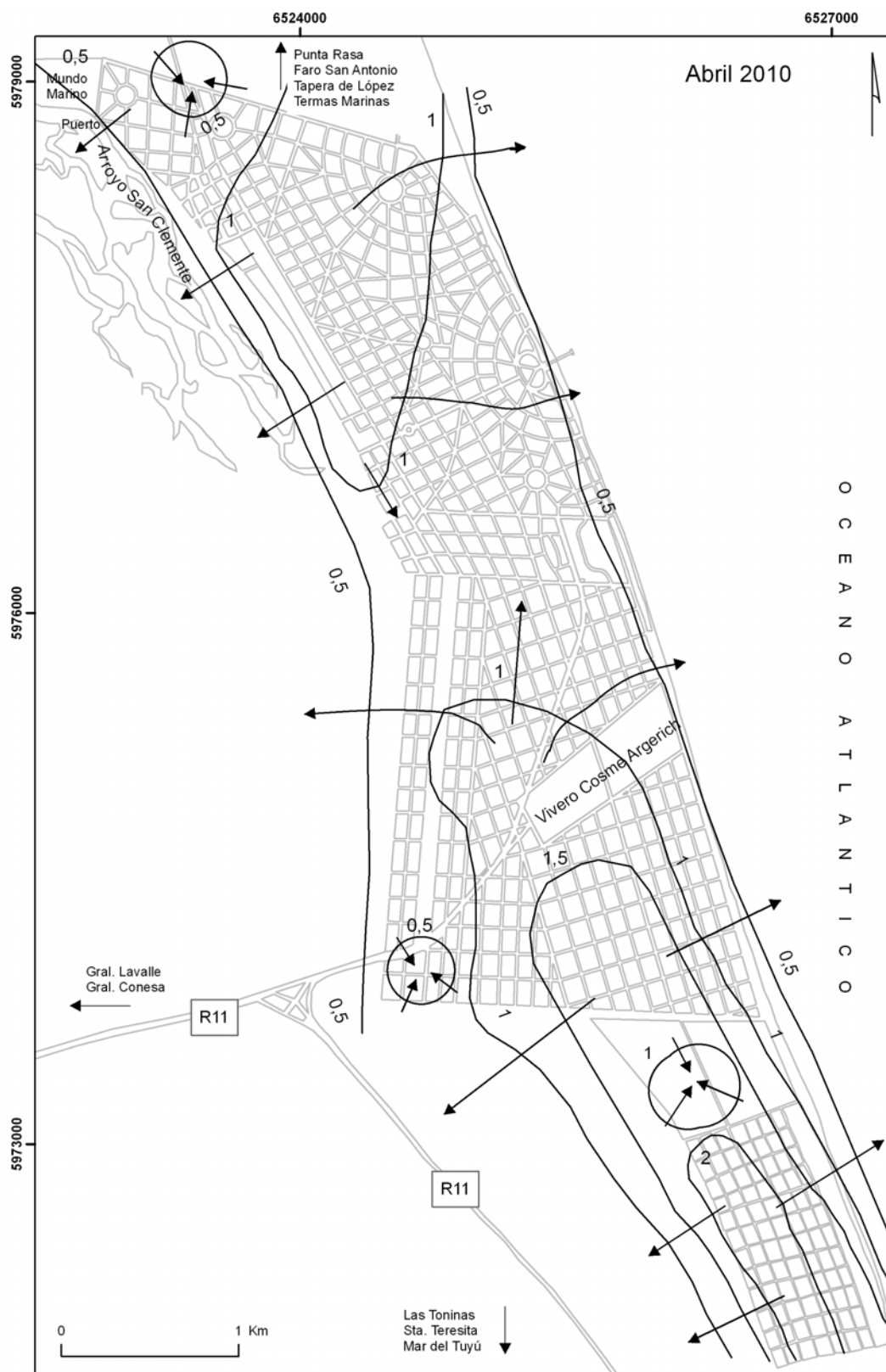


Figura 26. Mapa de flujo subterráneo para abril de 2010 (curvas en m s.n.m.)

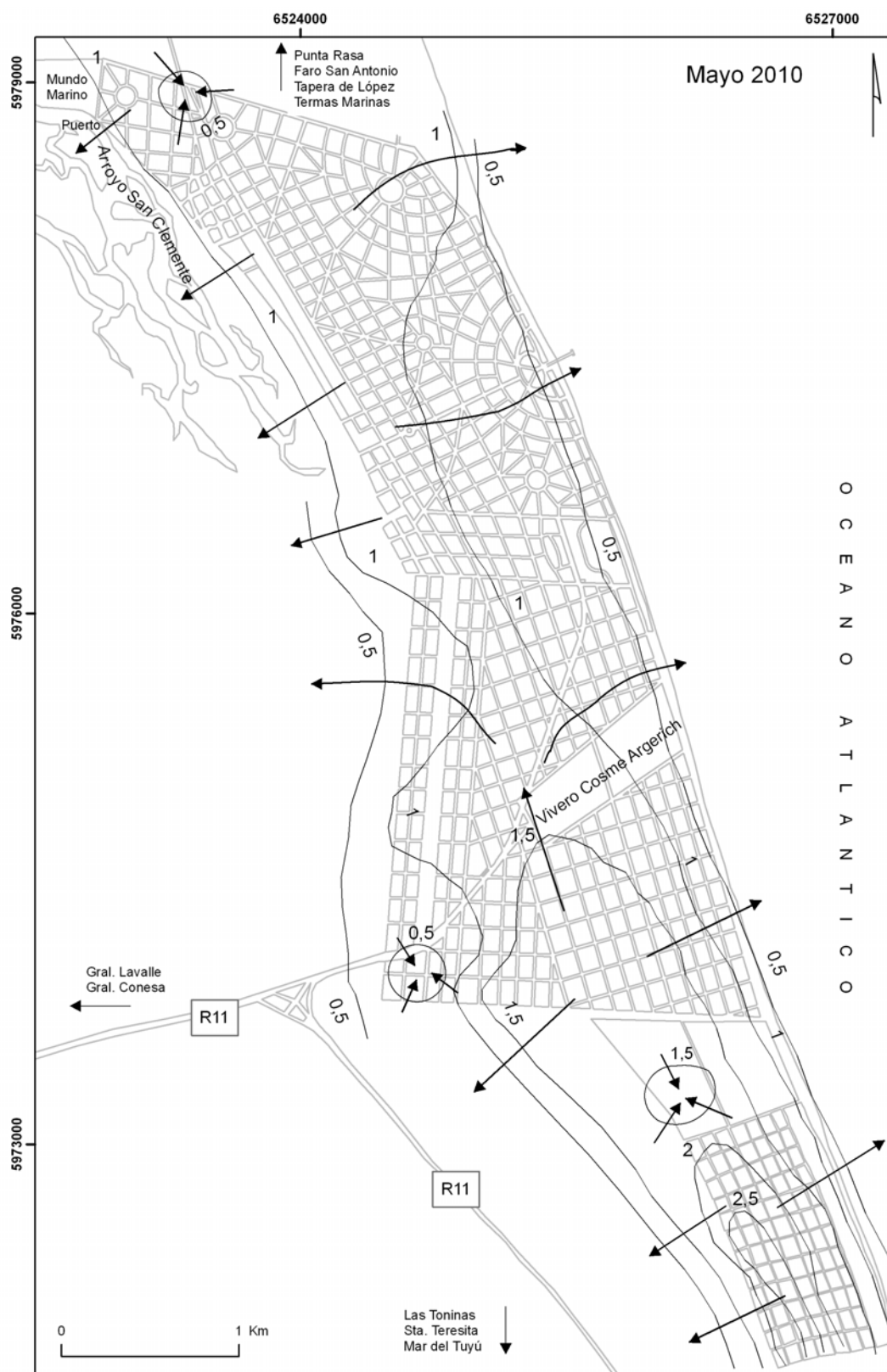


Figura 27. Mapa de flujo subterráneo para mayo de 2010 (curvas en m s.n.m.)

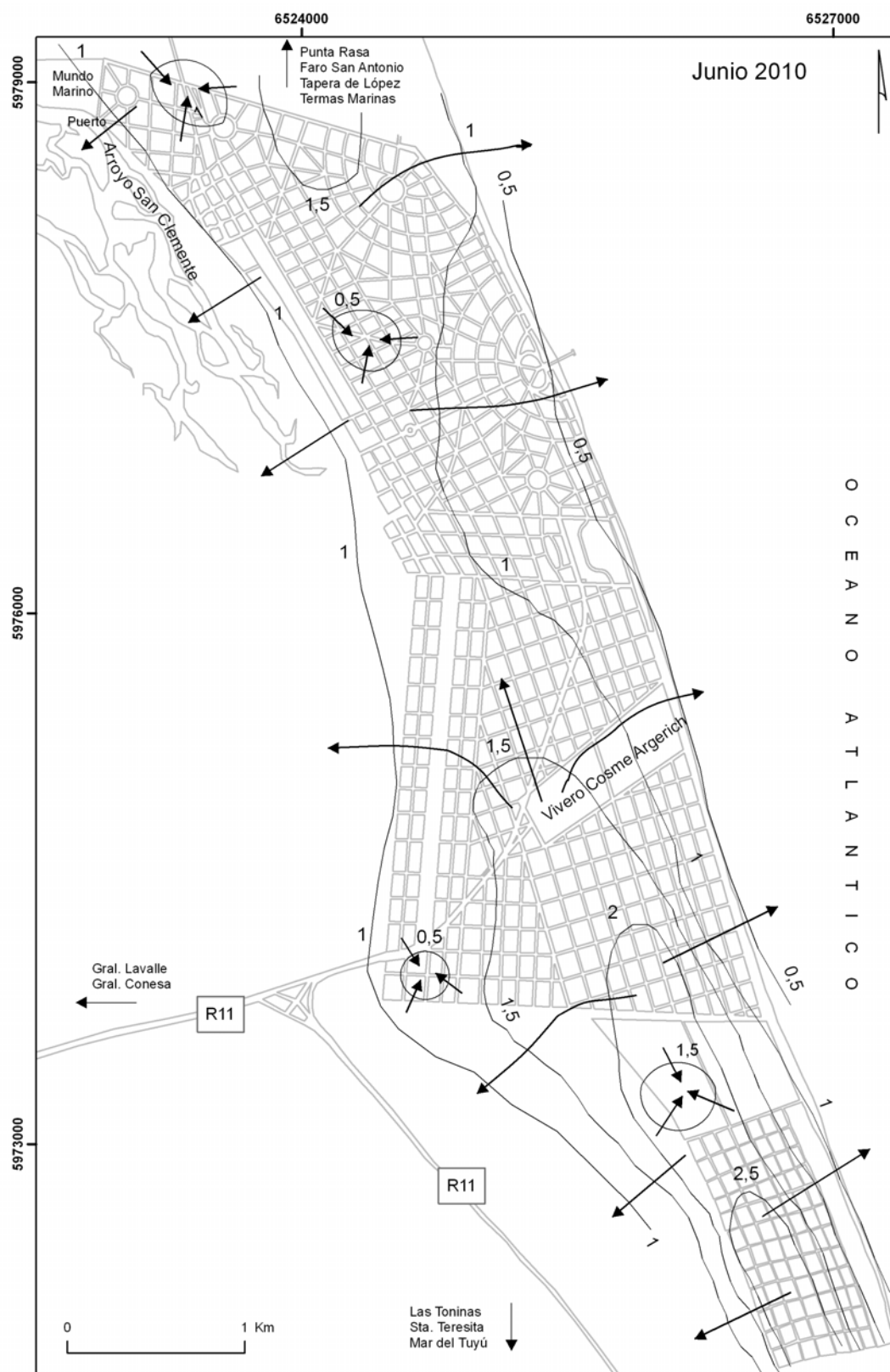


Figura 28. Mapa de flujo subterráneo para junio de 2010 (curvas en m s.n.m.)

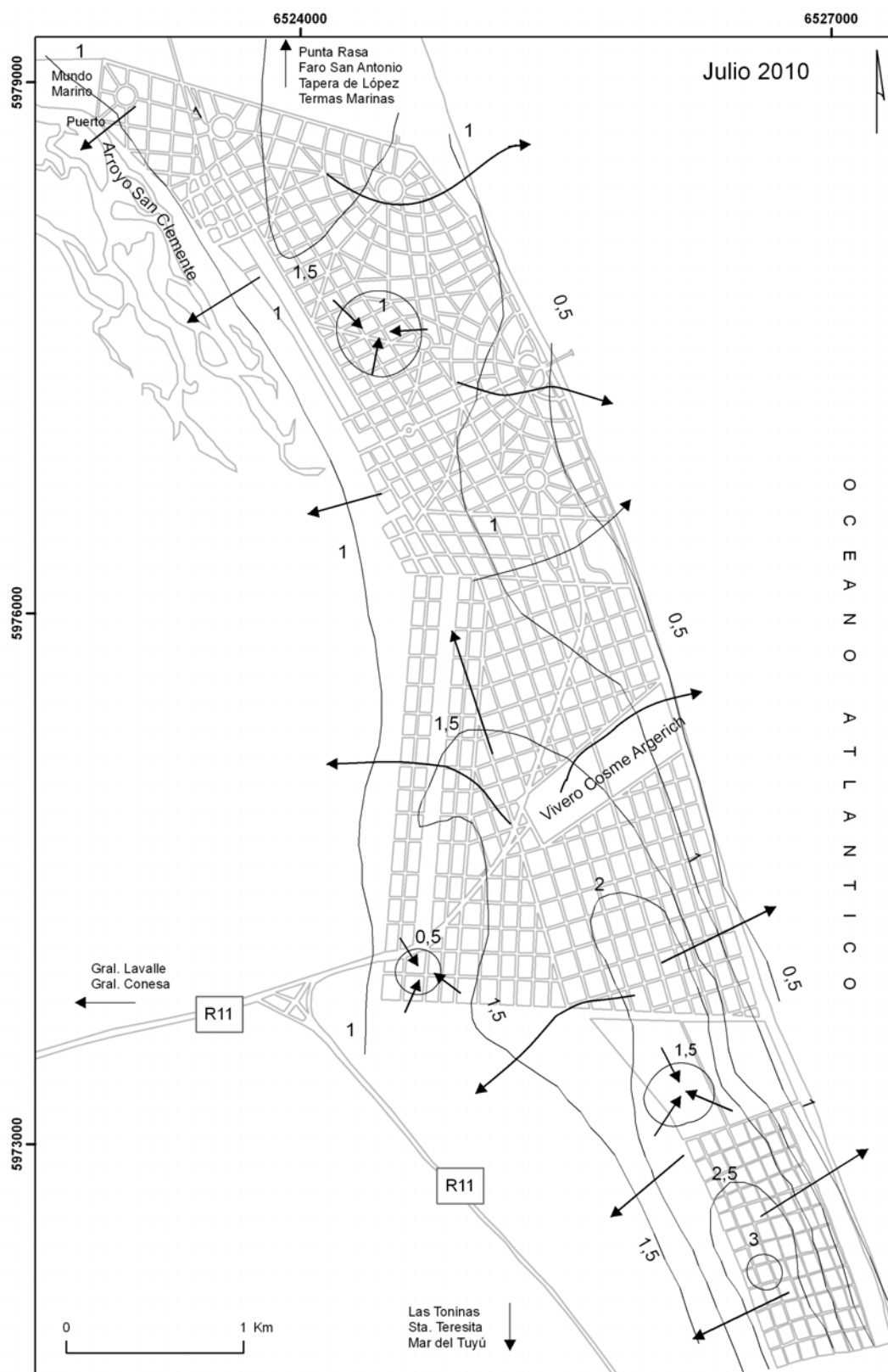


Figura 29. Mapa de flujo subterráneo para julio de 2010 (curvas en m s.n.m.)

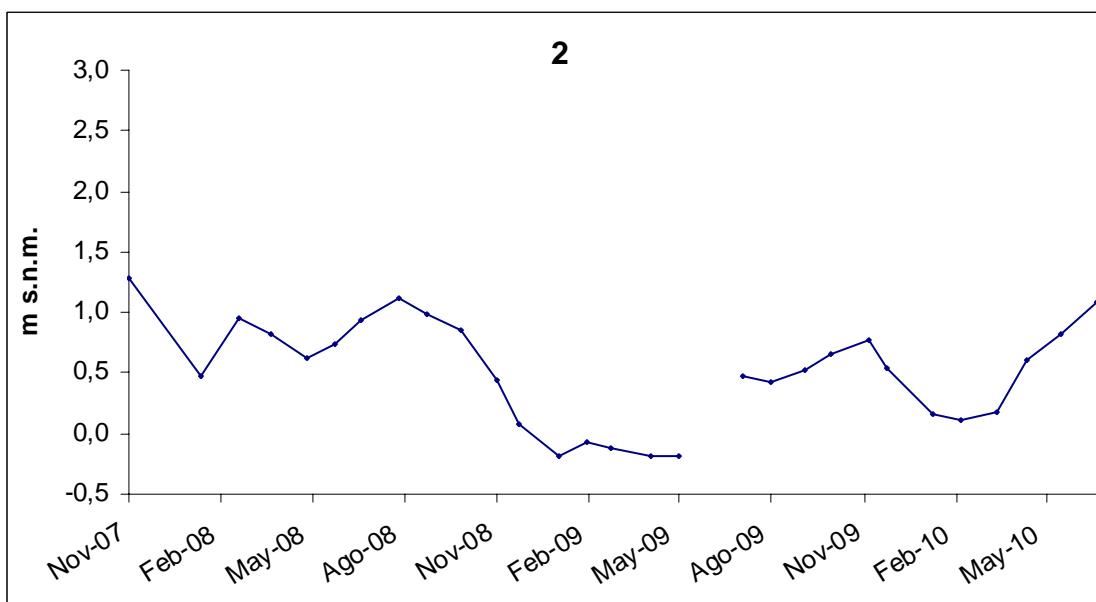
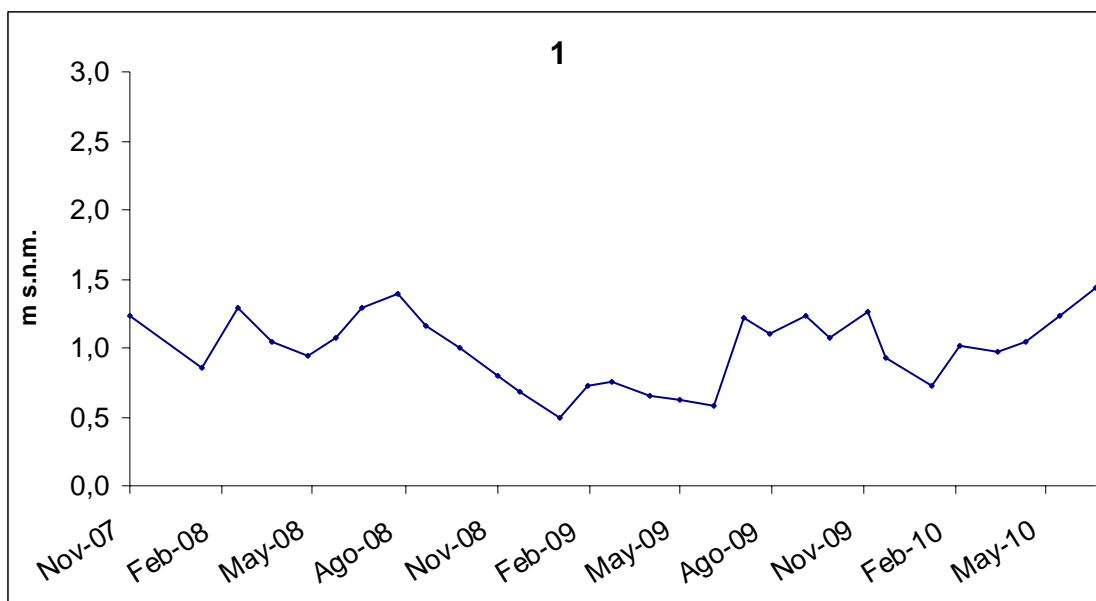
ANEXO 7

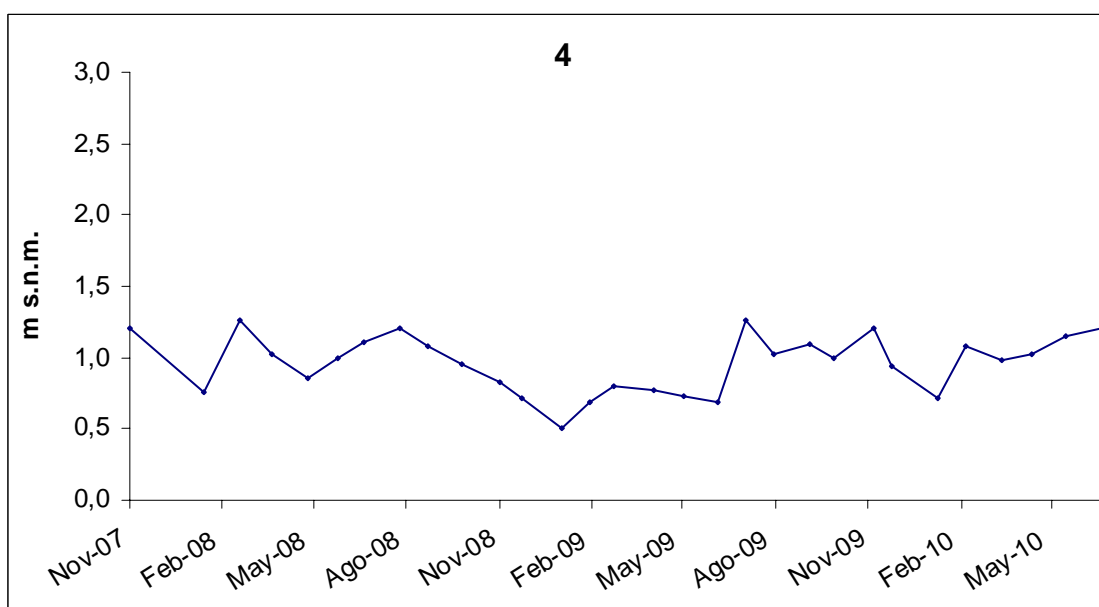
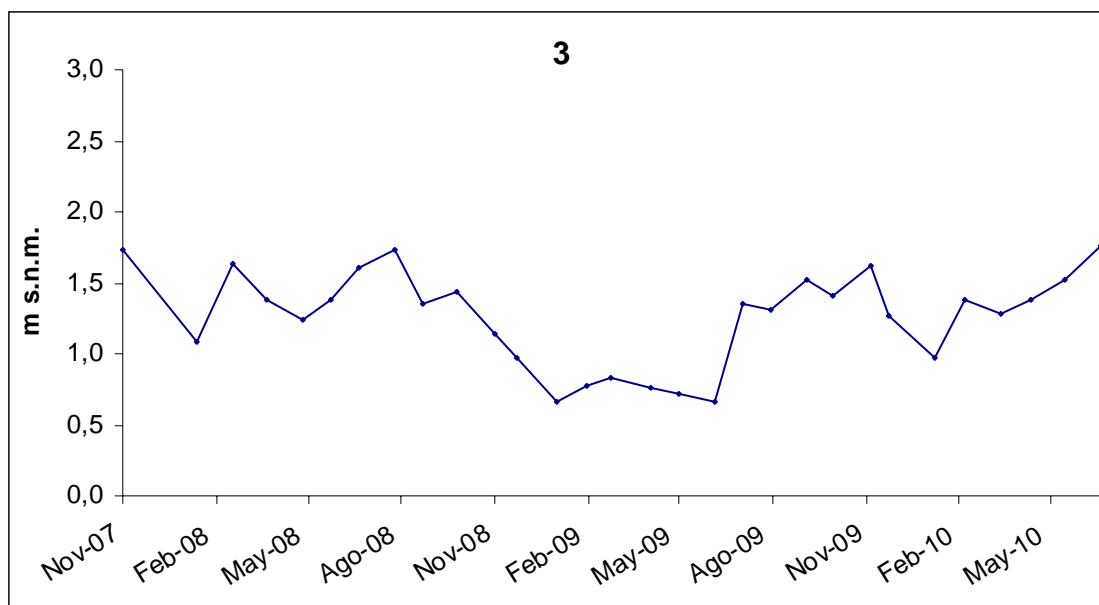
GRAFICOS DE VARIACIÓN DE NIVELES FREÁTICOS

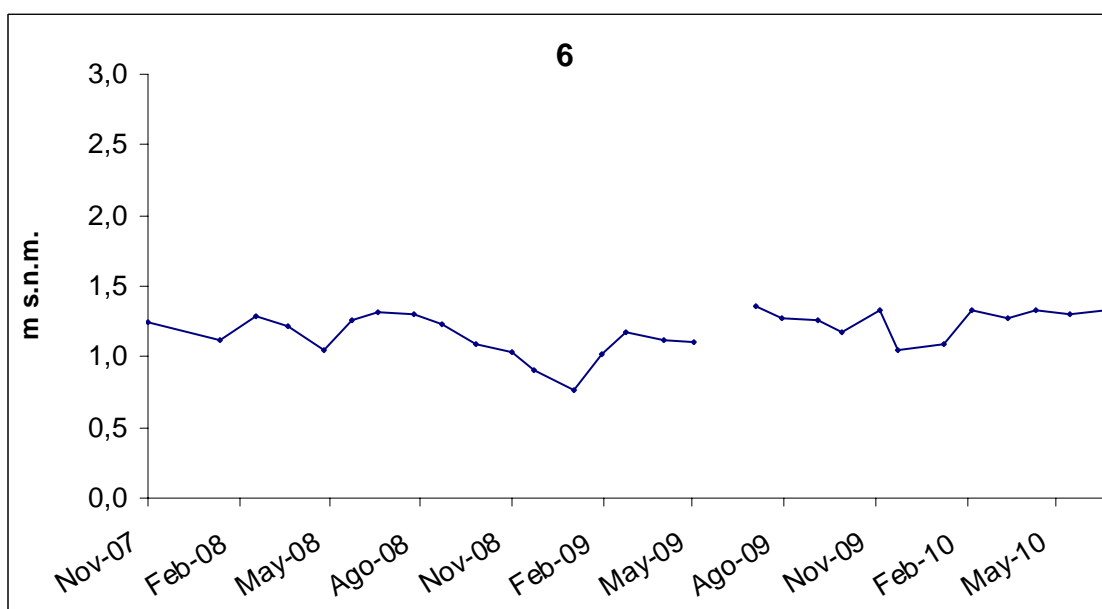
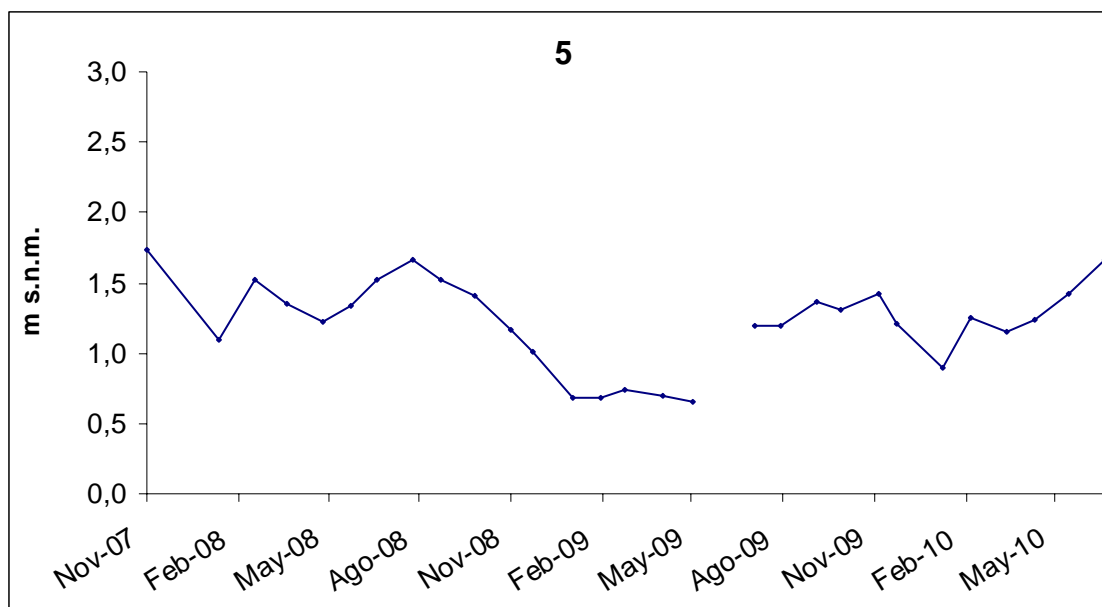
Noviembre 2007-julio 2010
(Pozos 1 a 43)

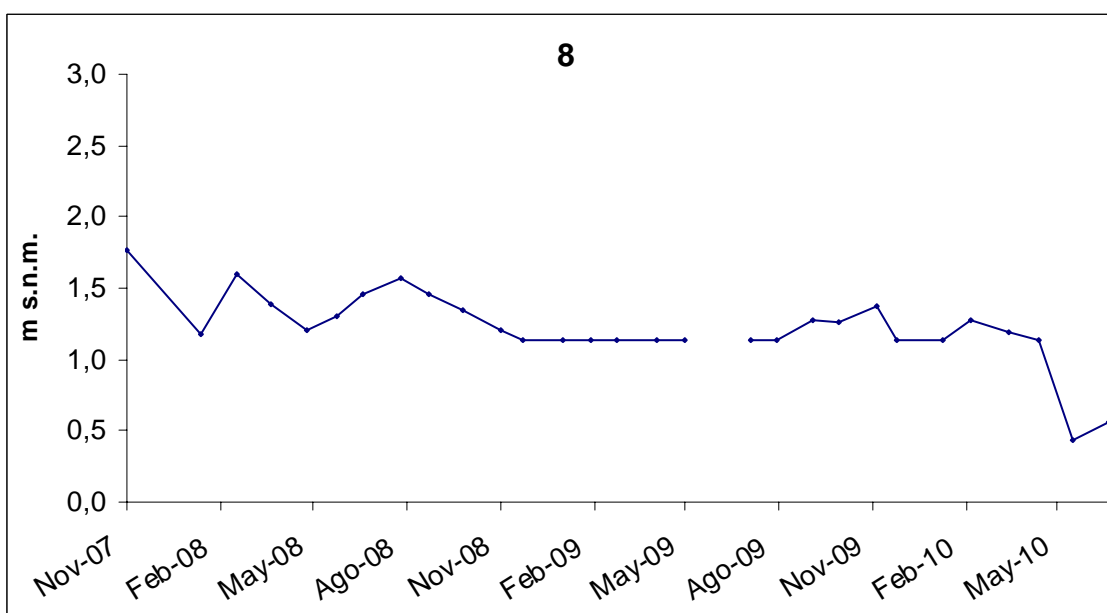
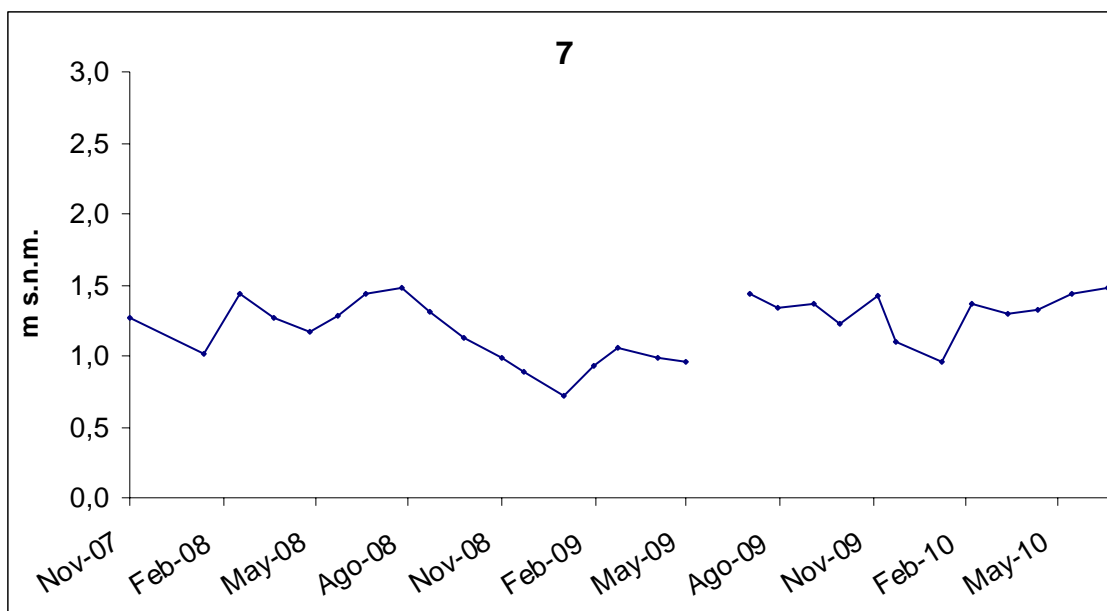


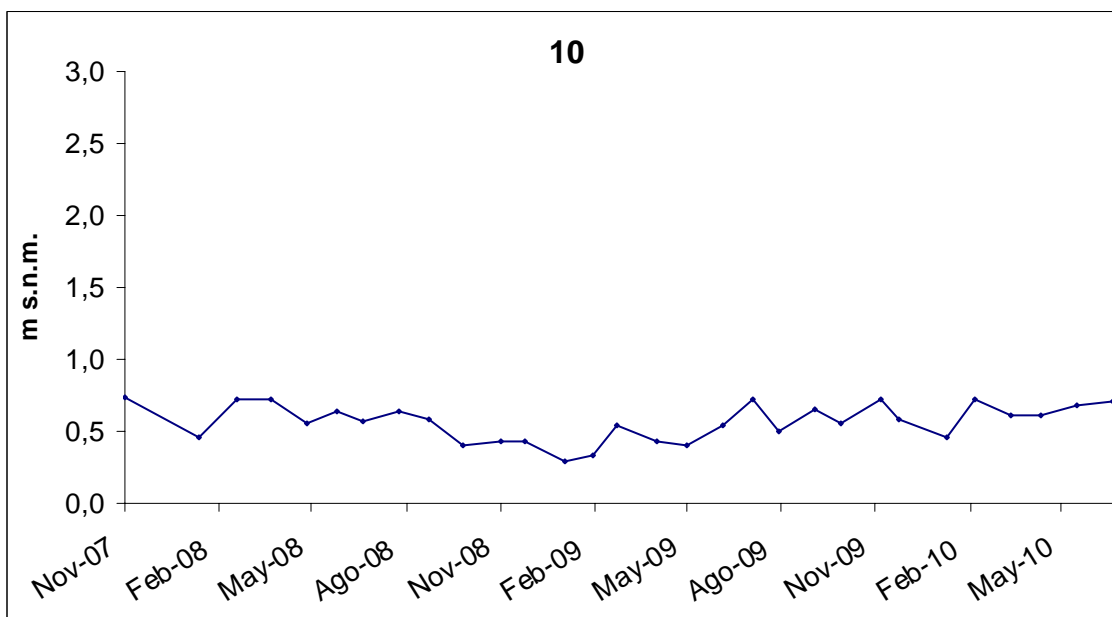
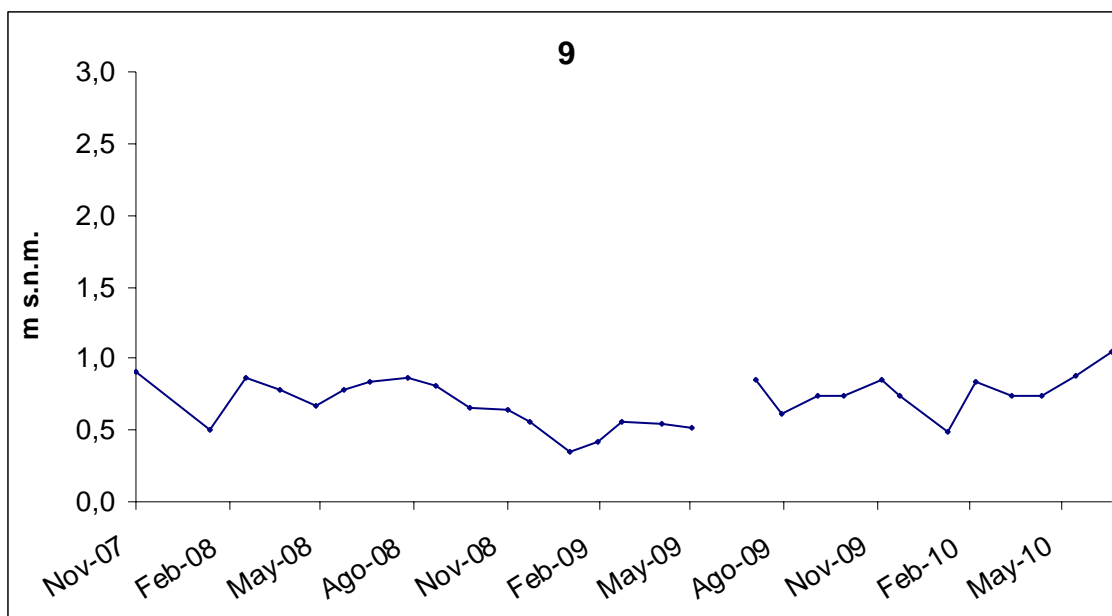
Mapa de ubicación de los pozos

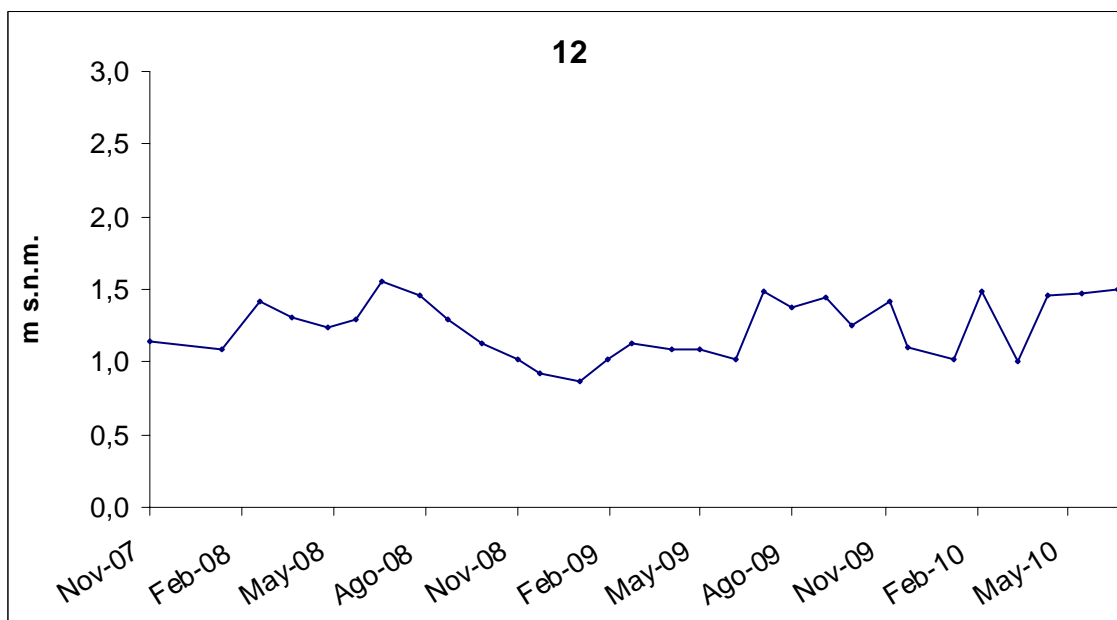
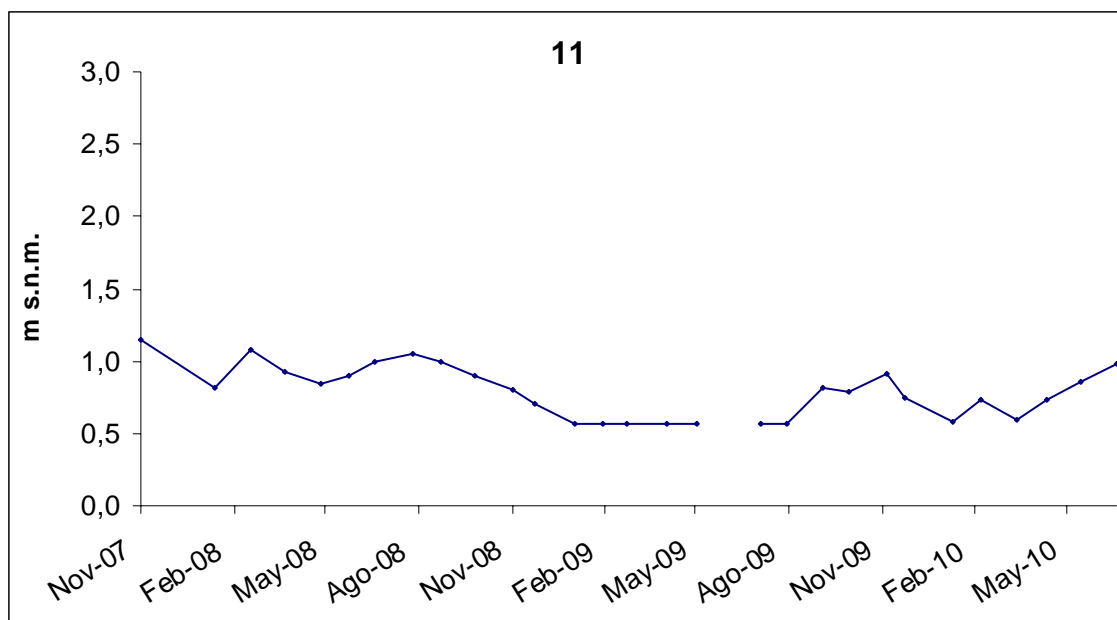


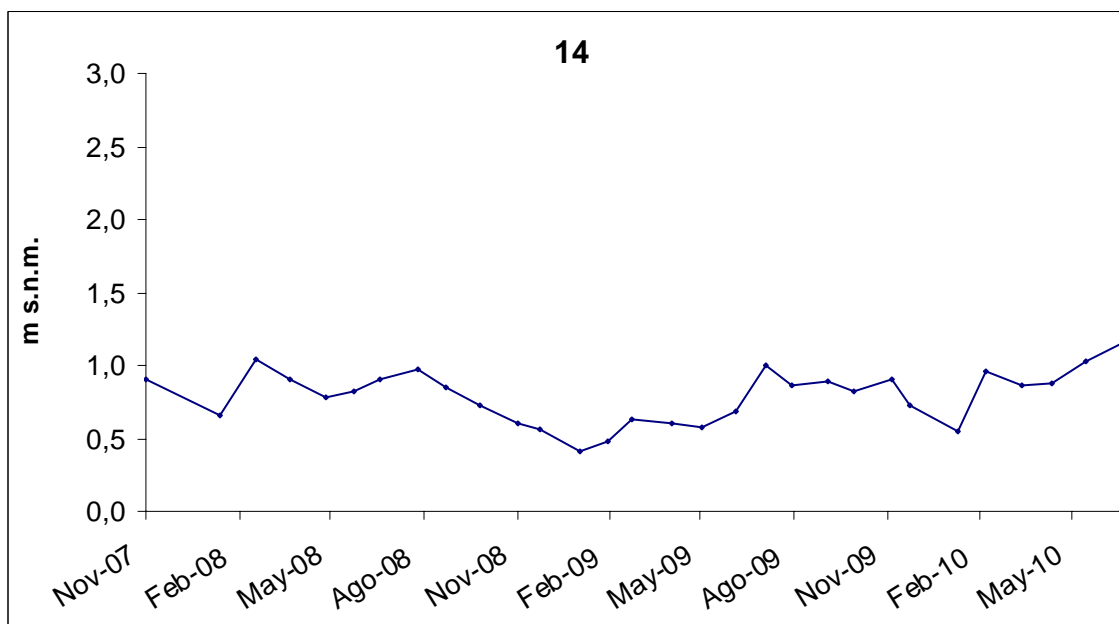
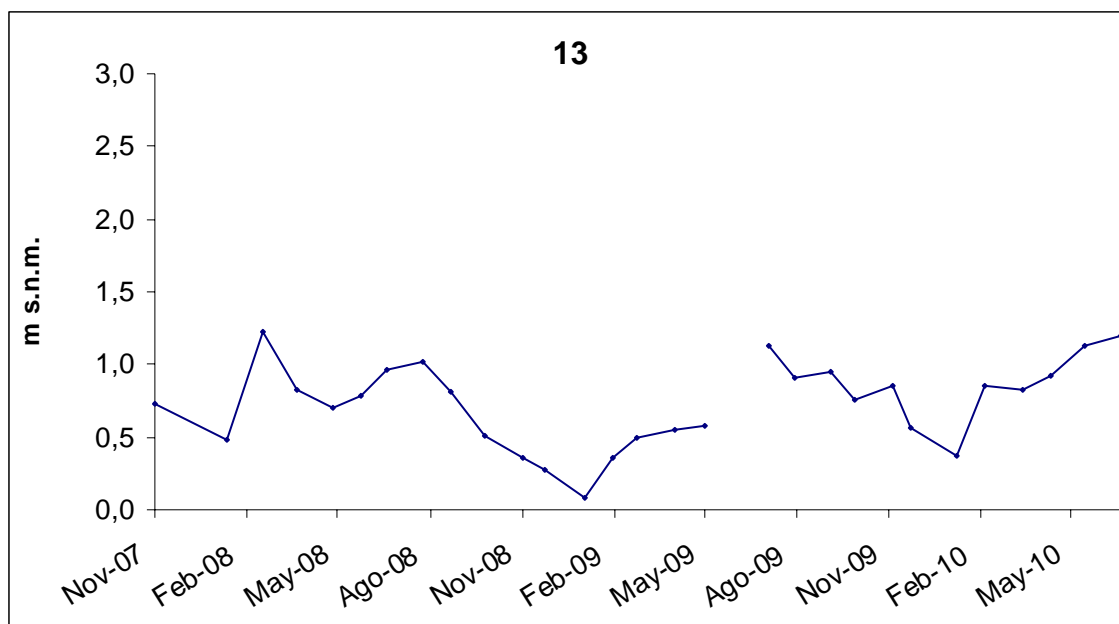


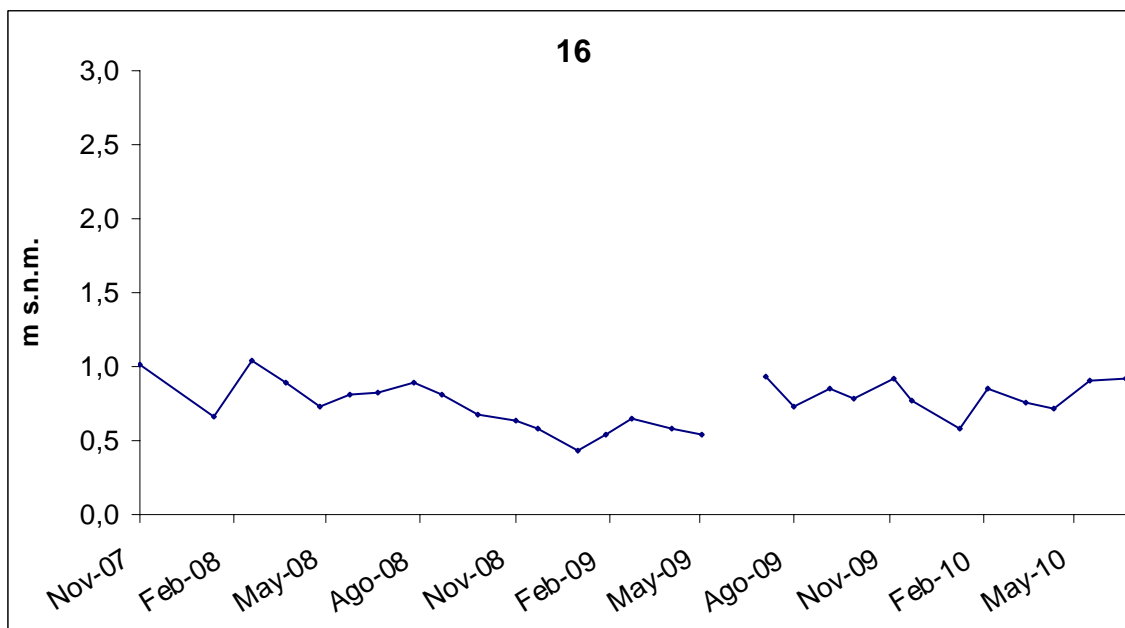
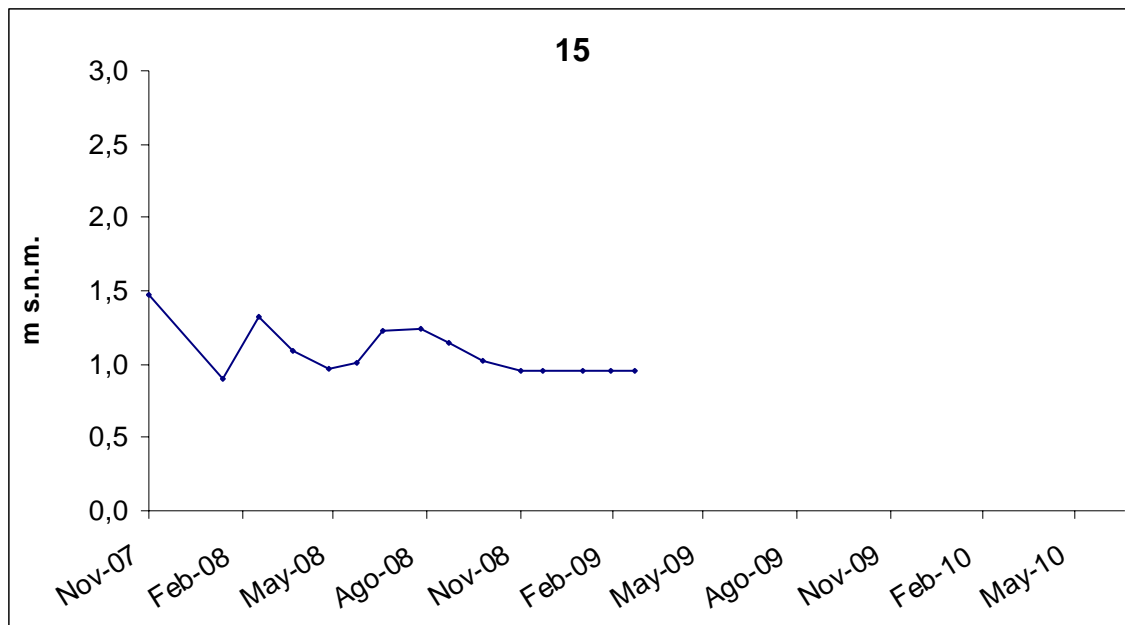


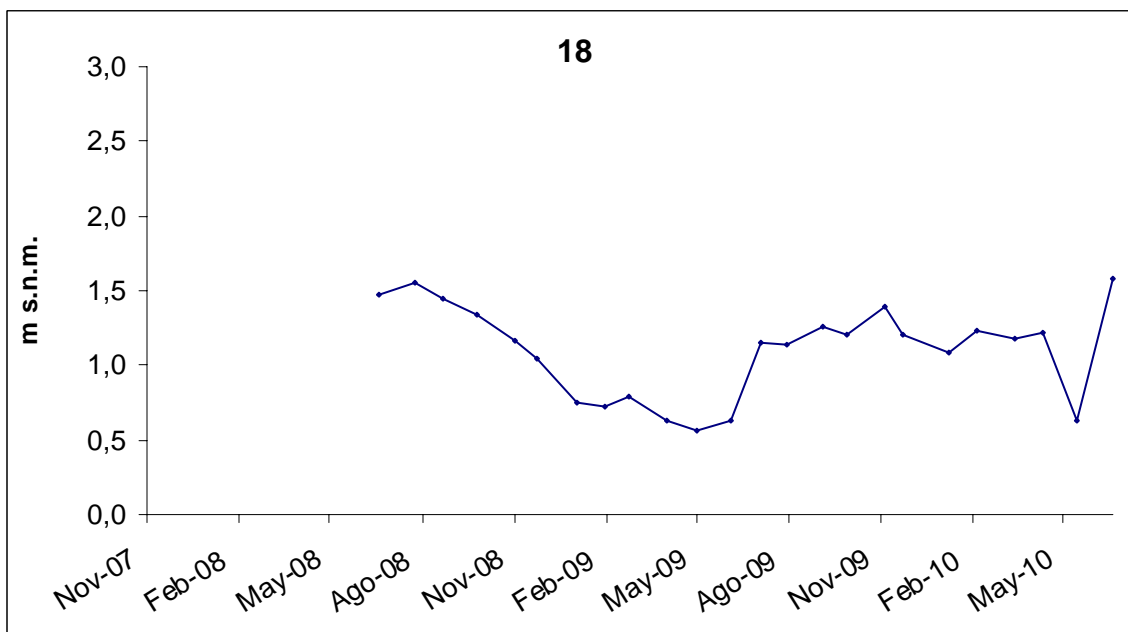
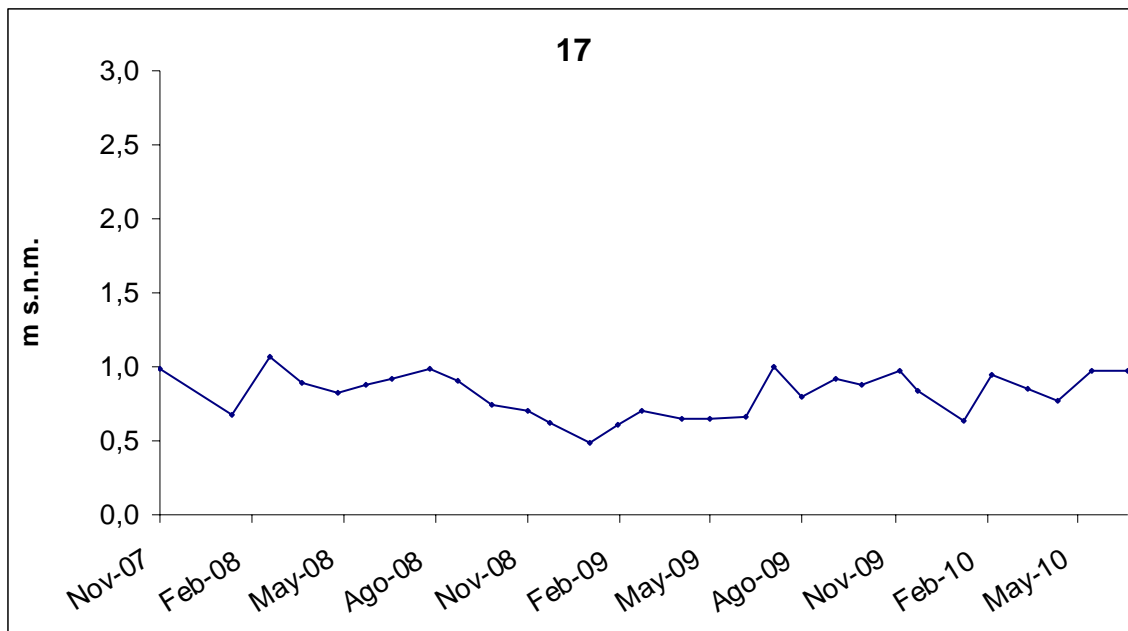


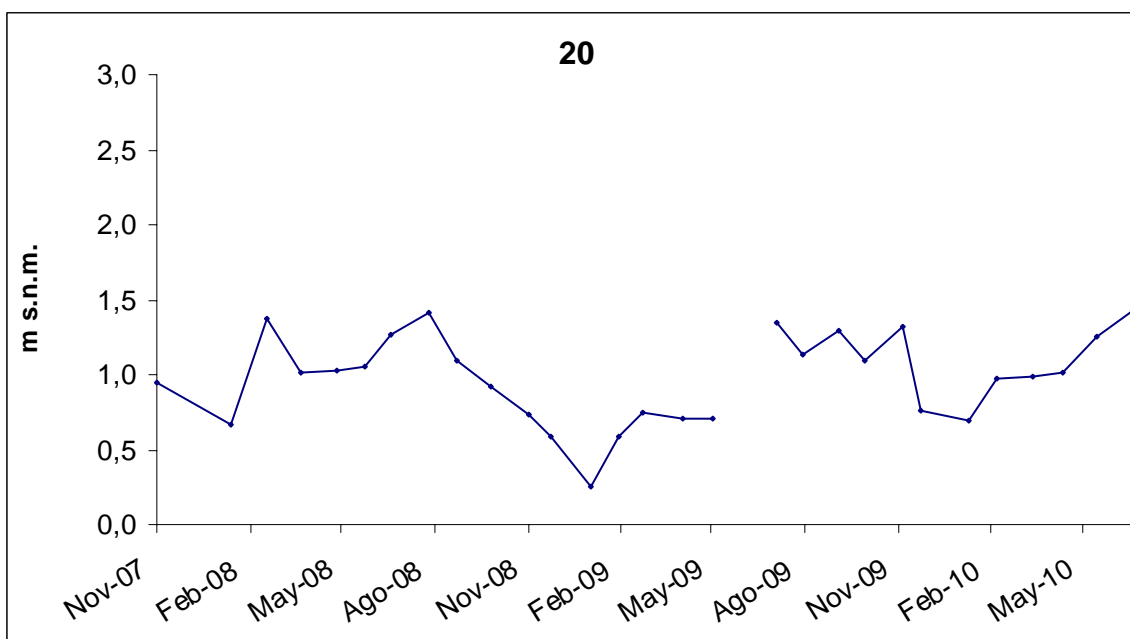
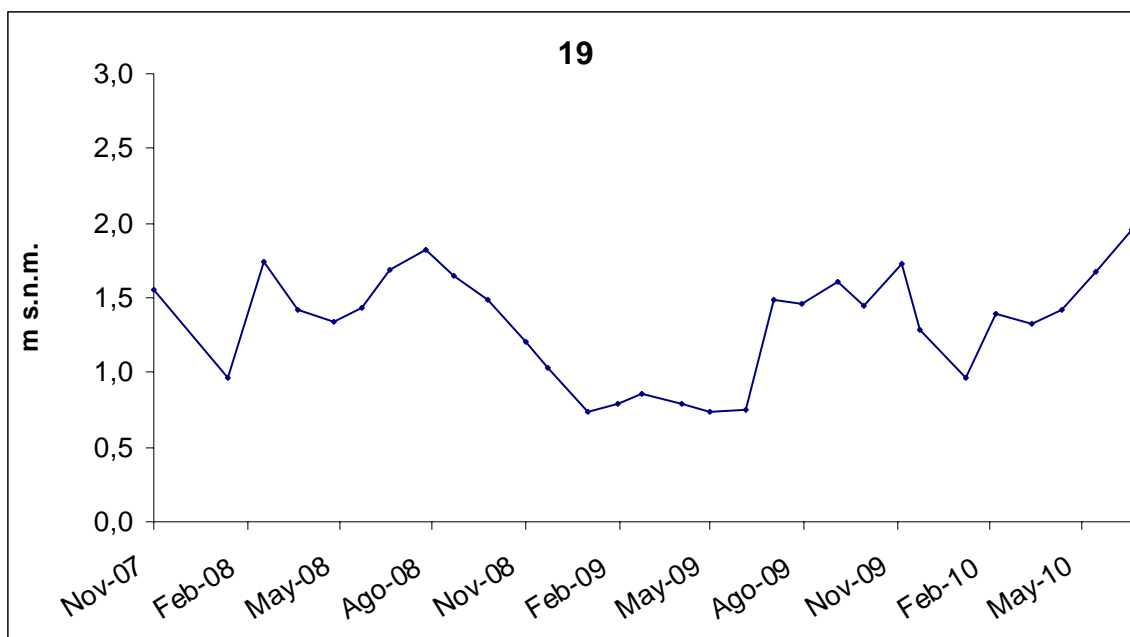


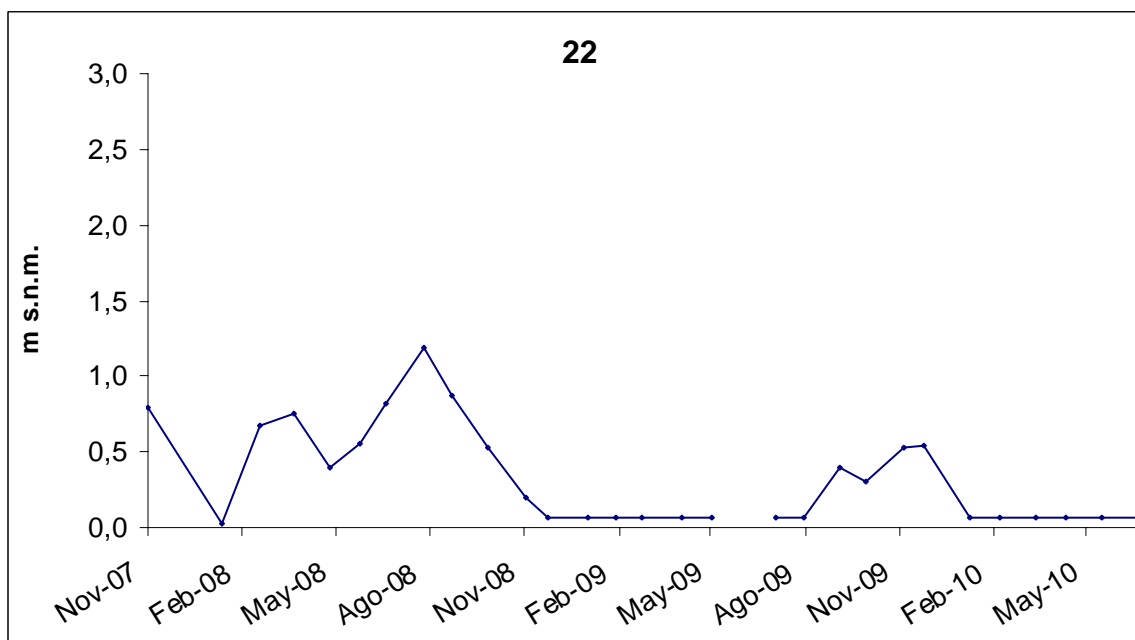
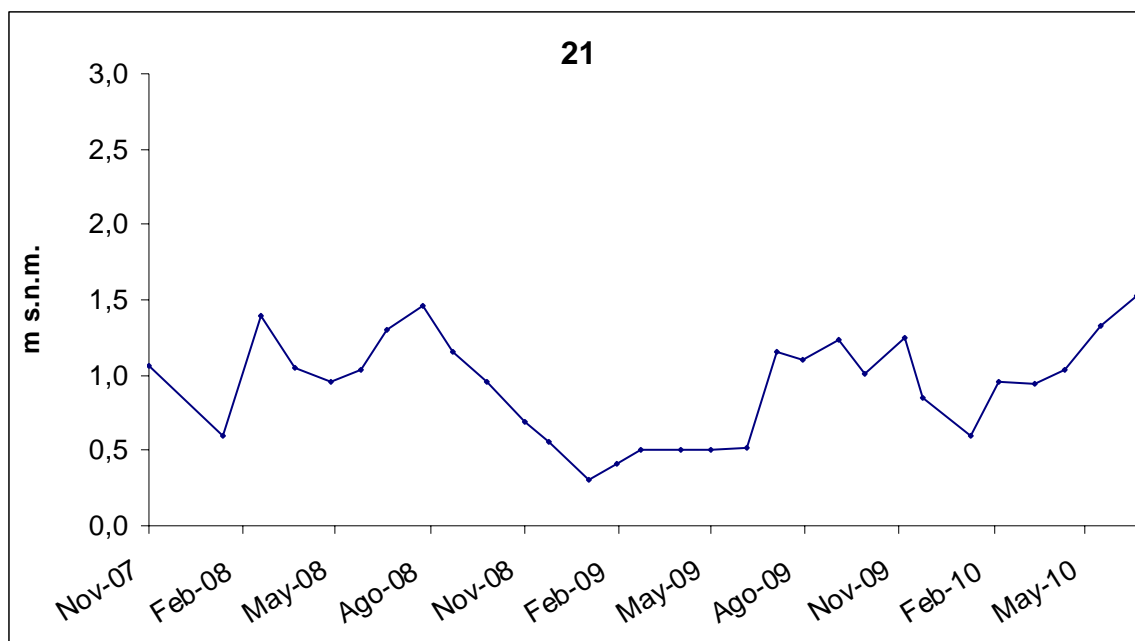


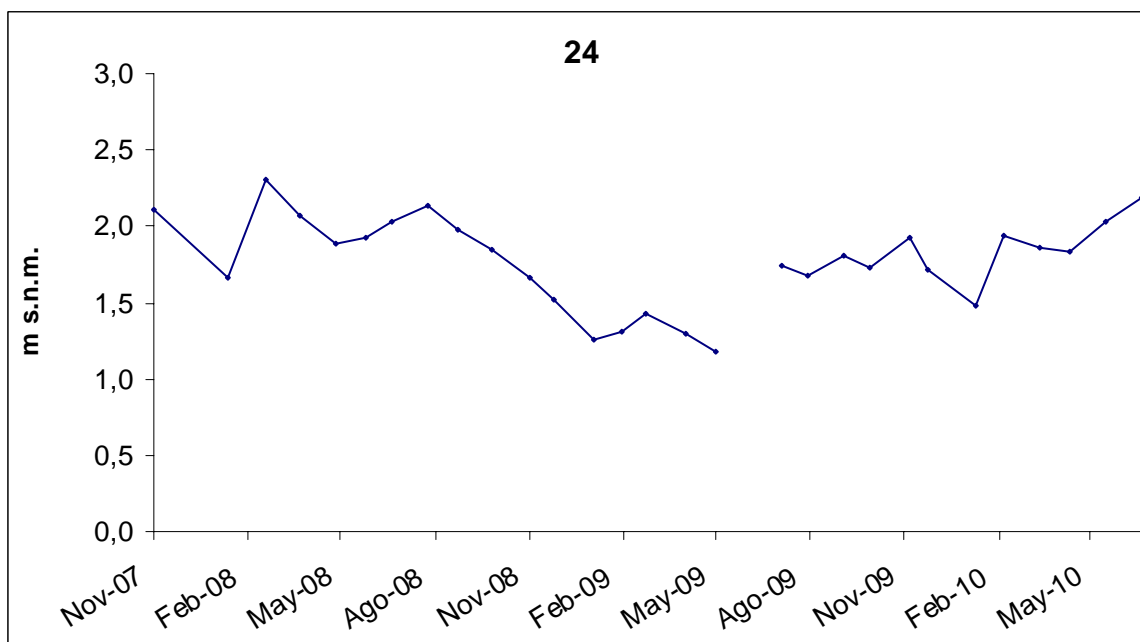
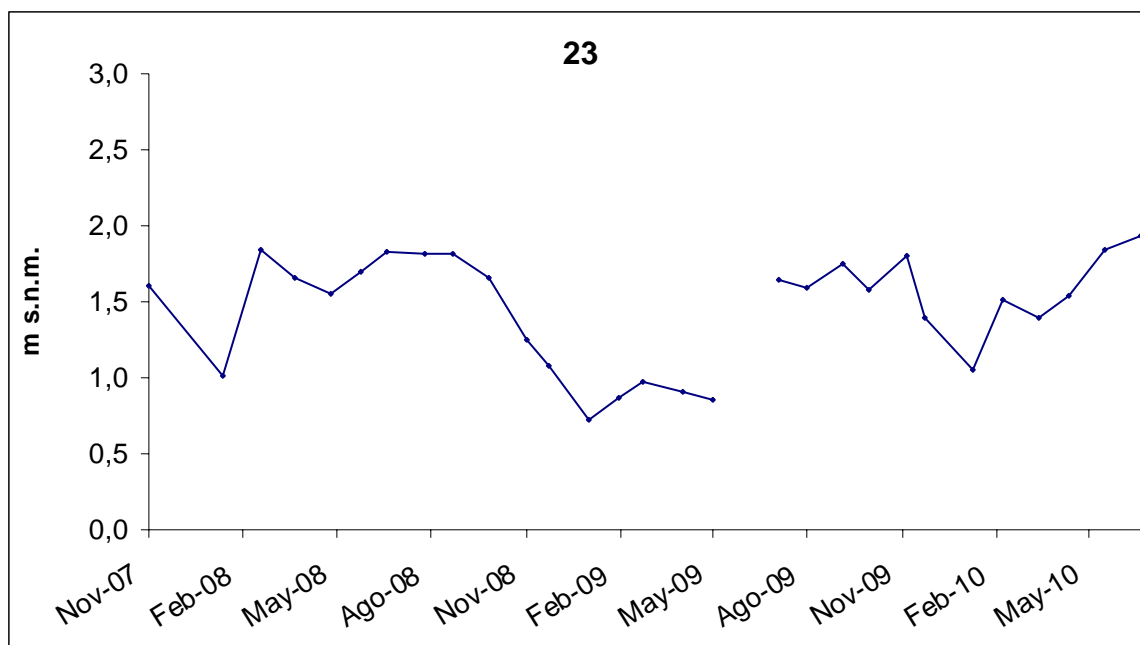


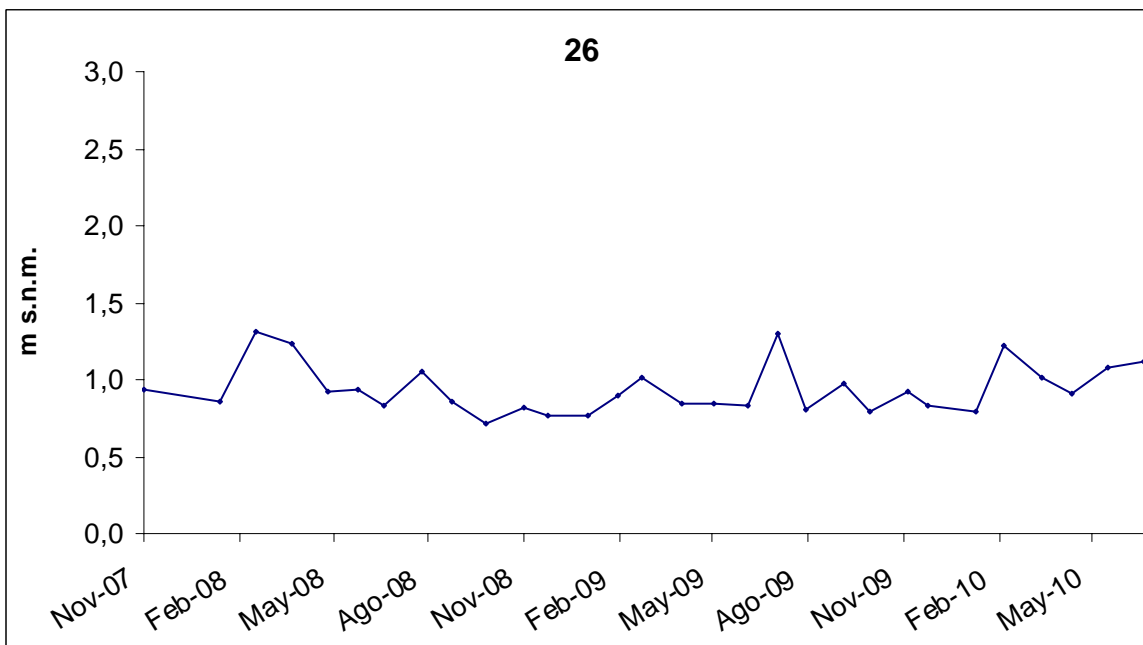
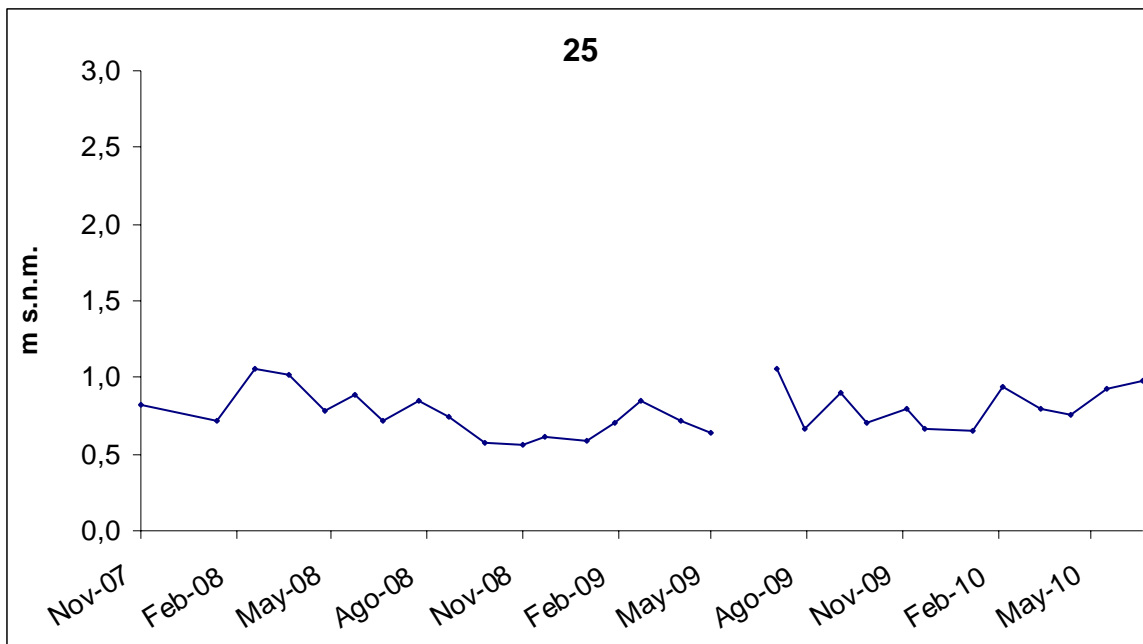


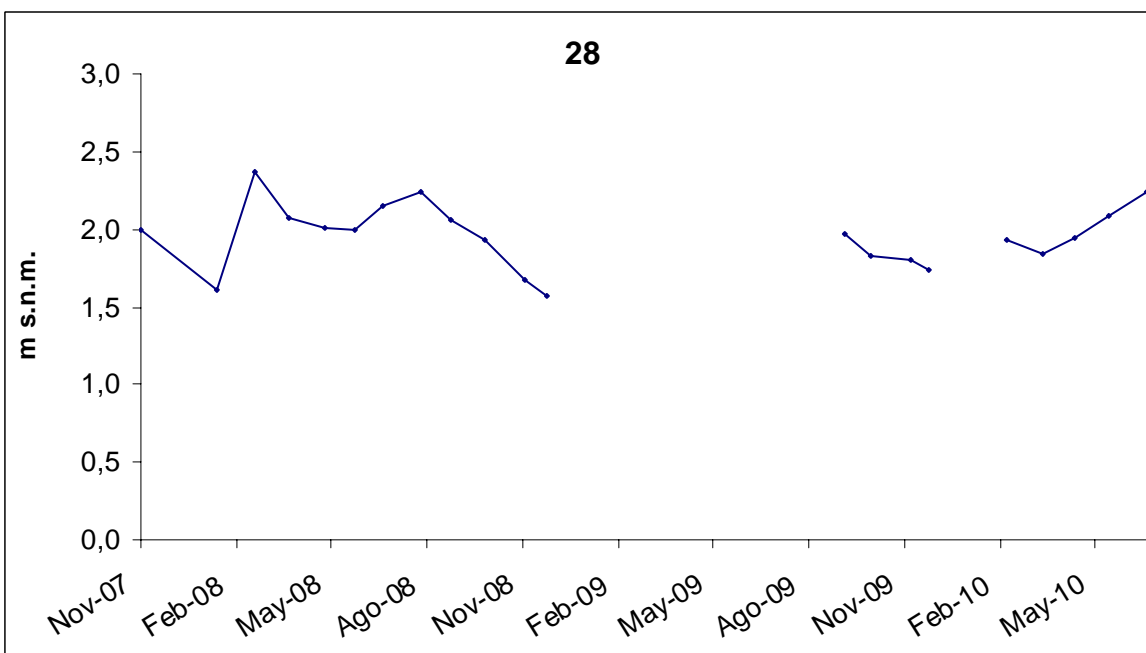
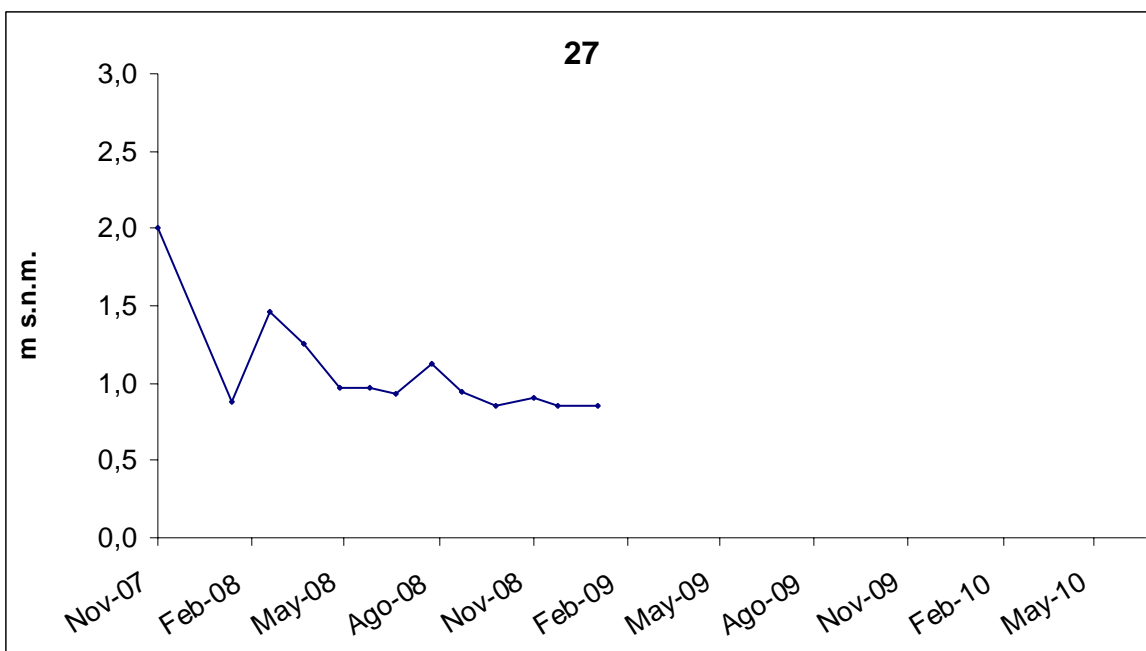


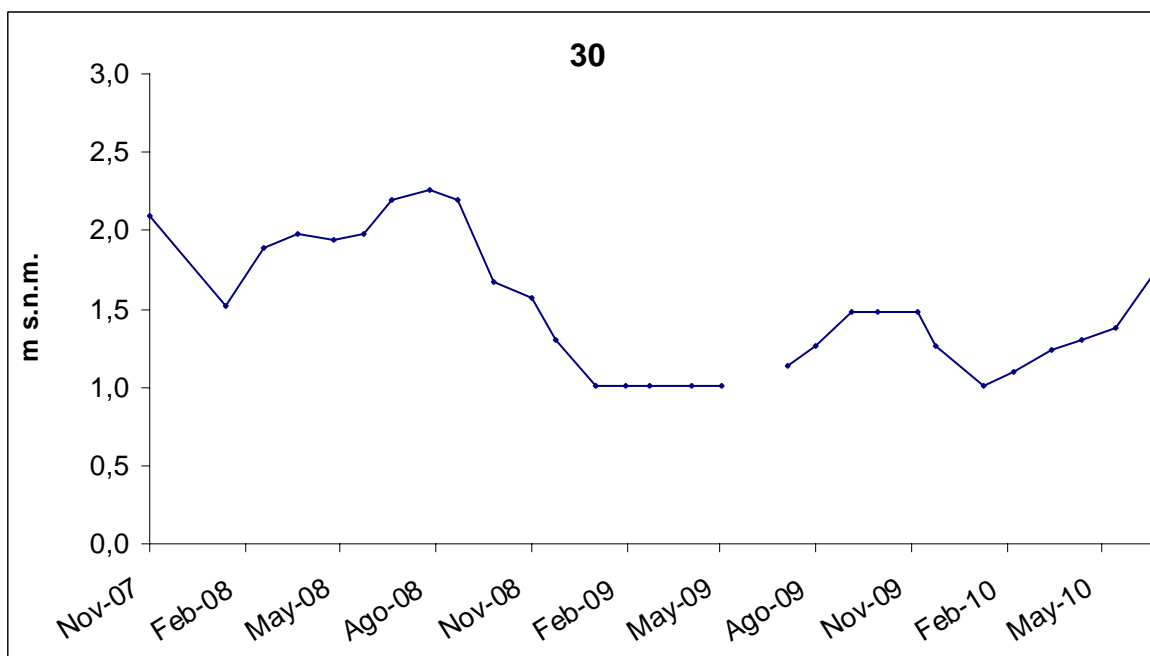
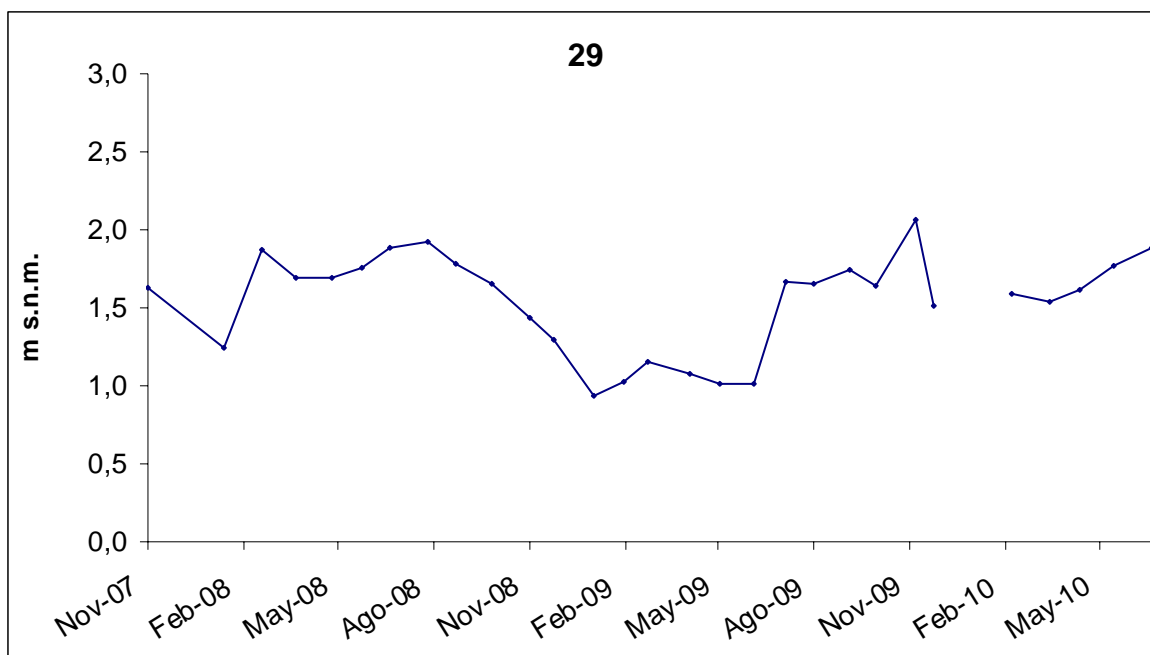


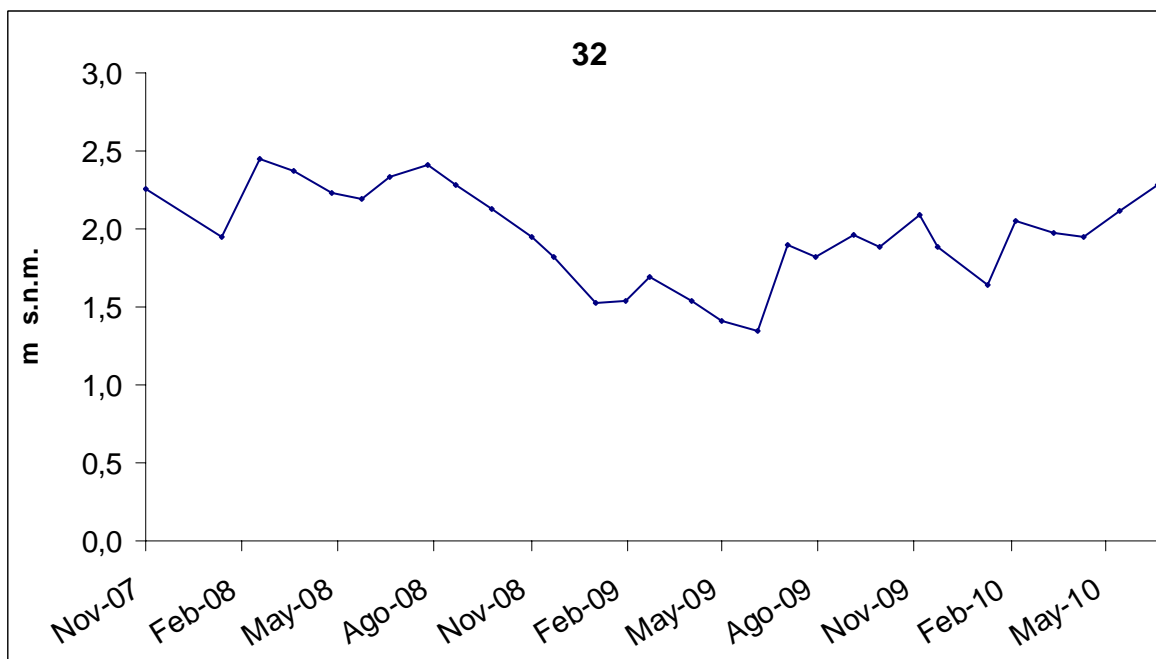
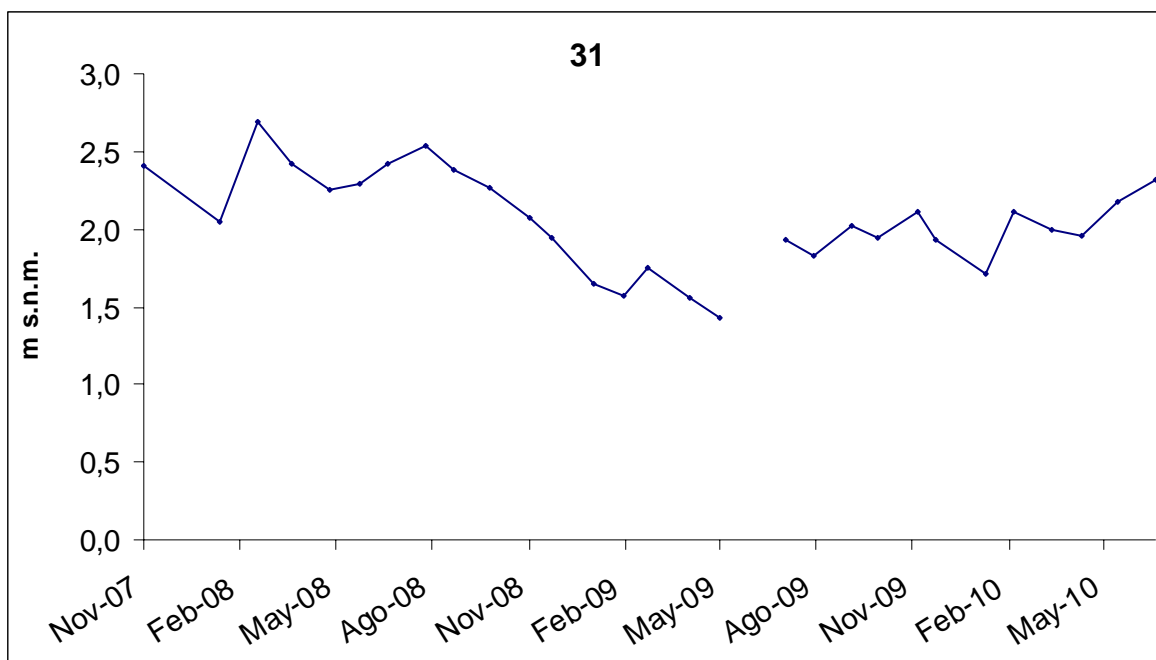


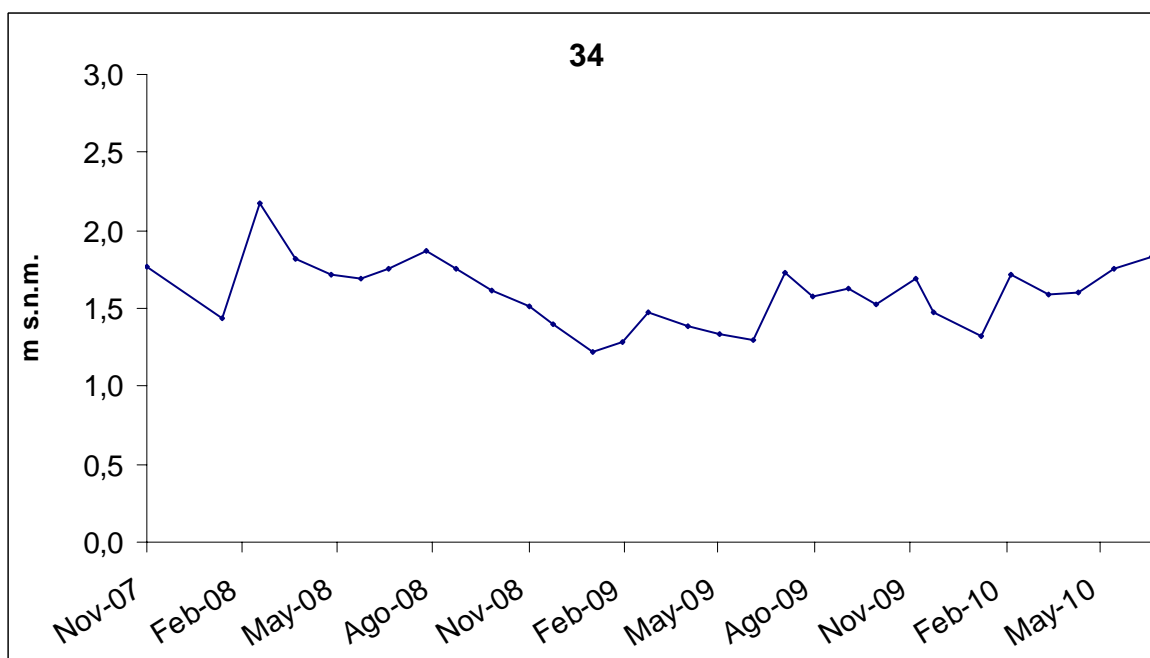
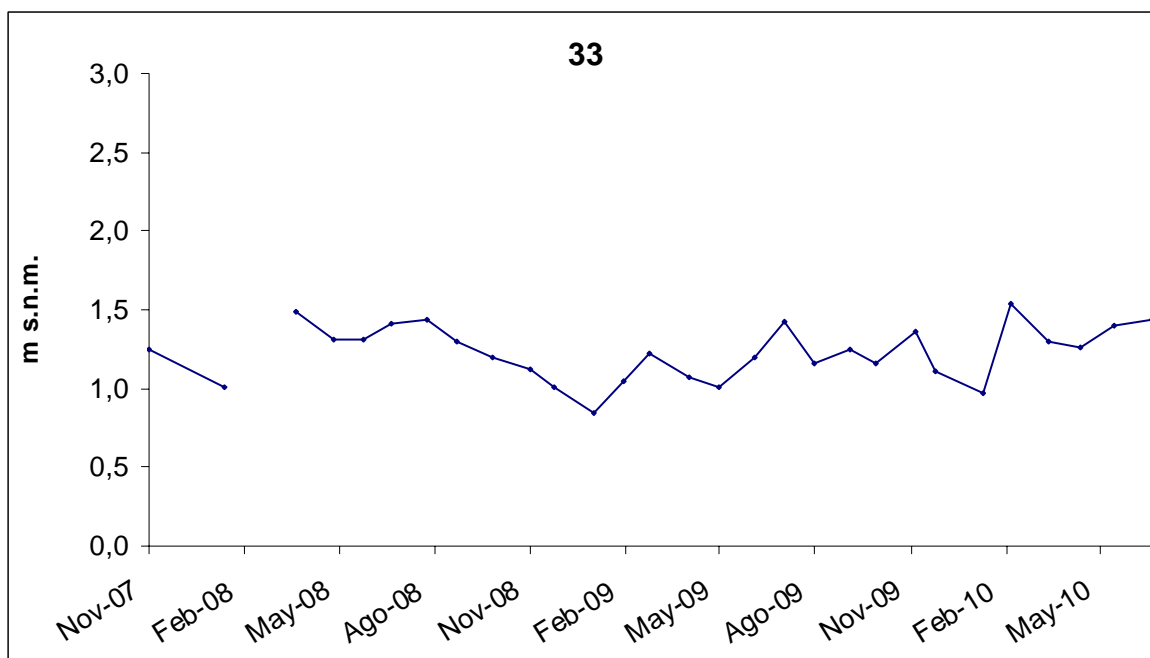


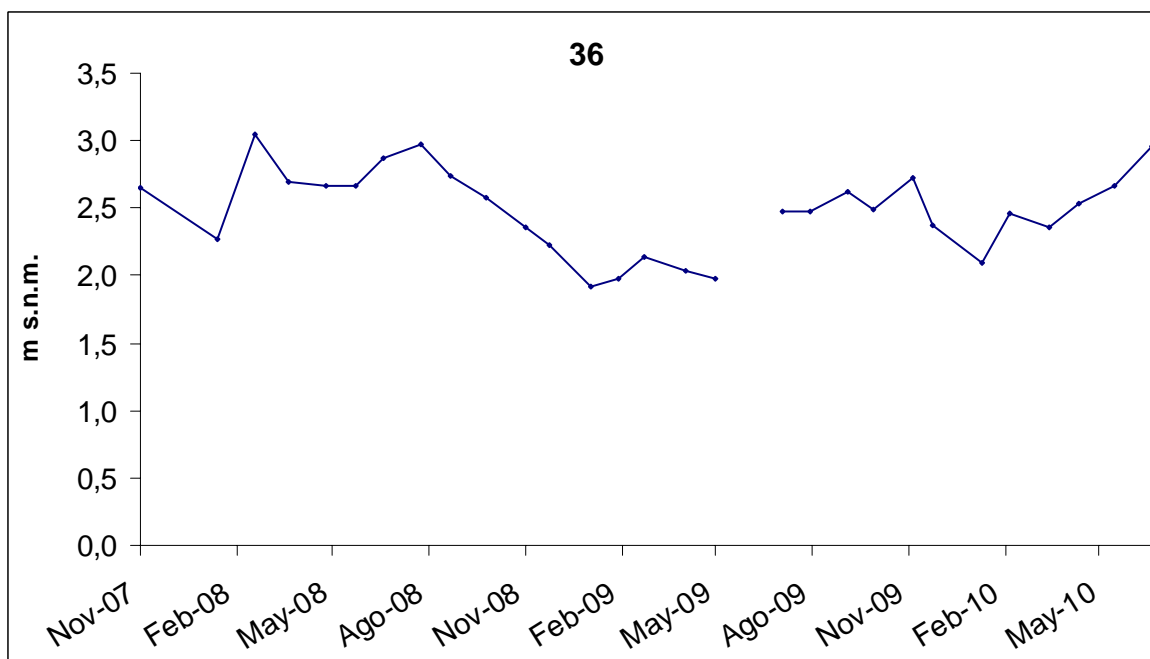
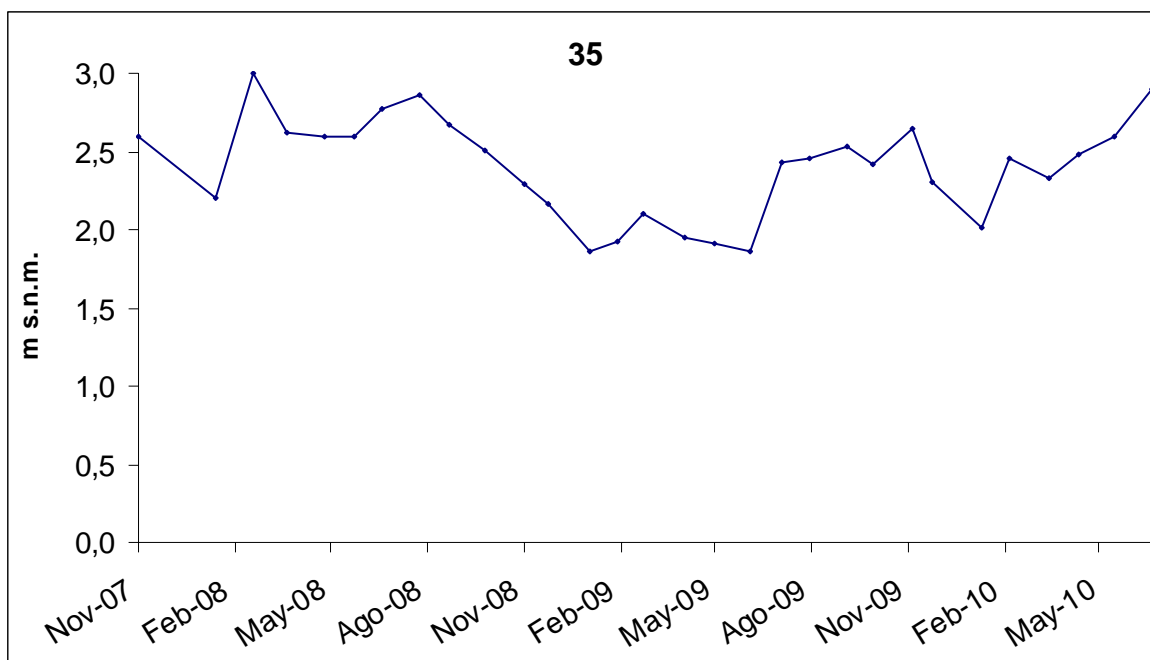


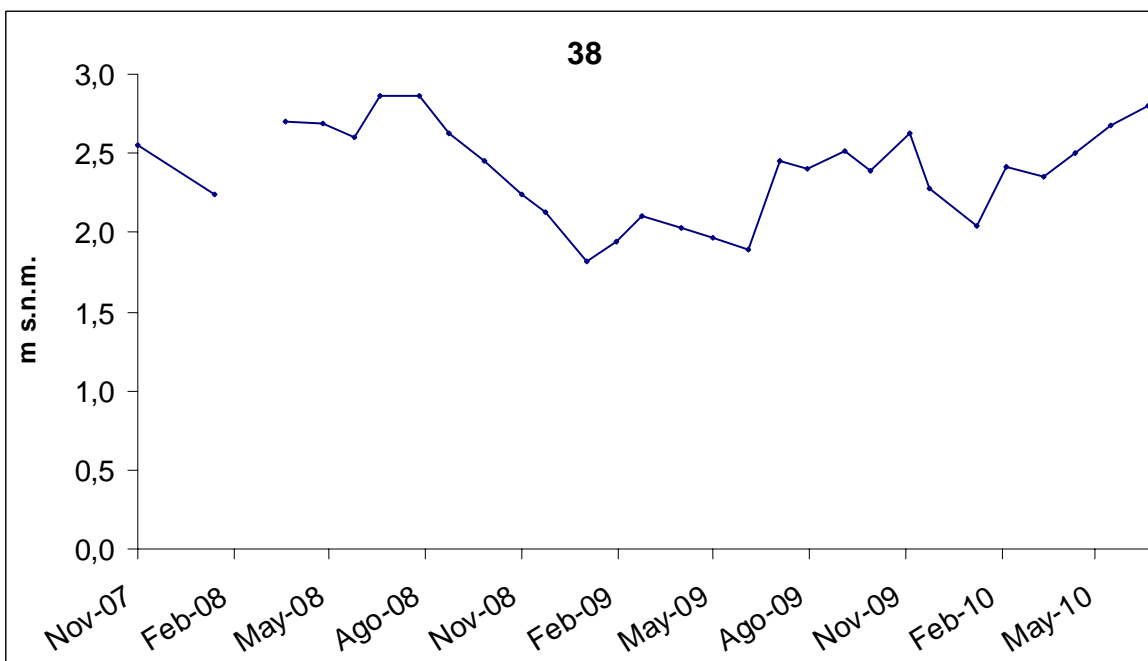
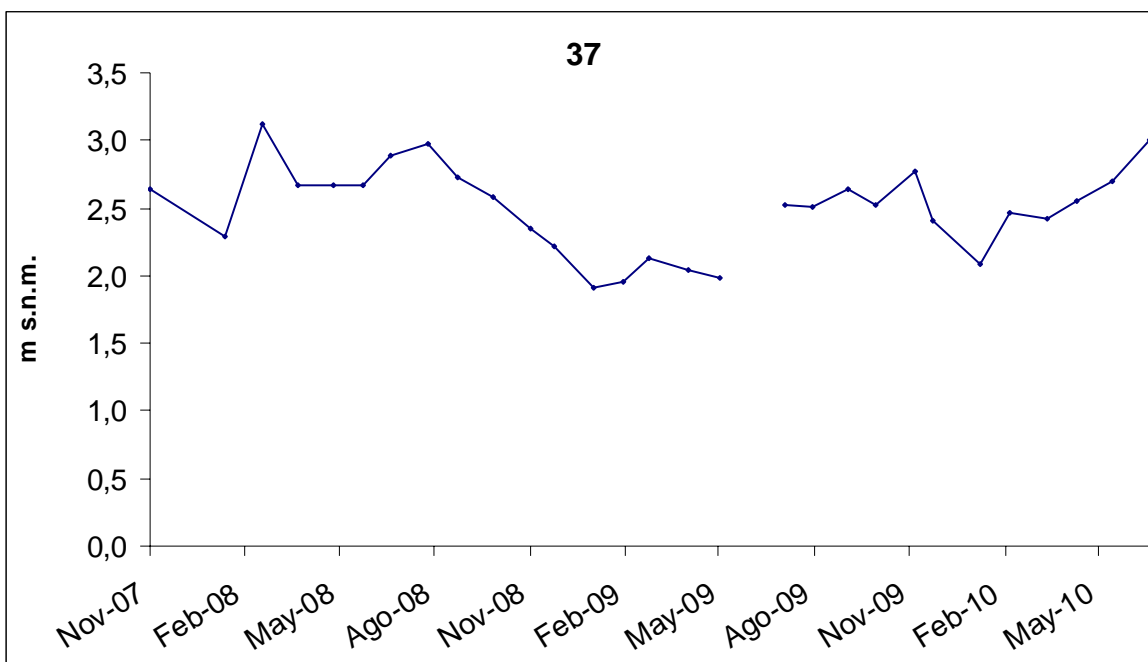


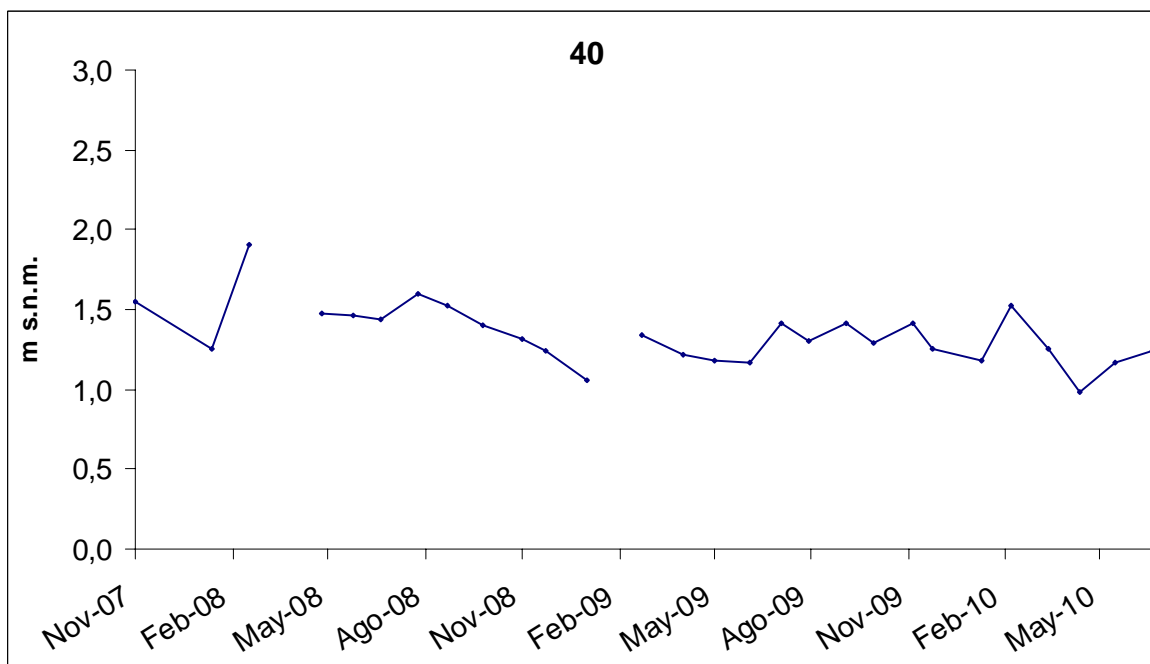
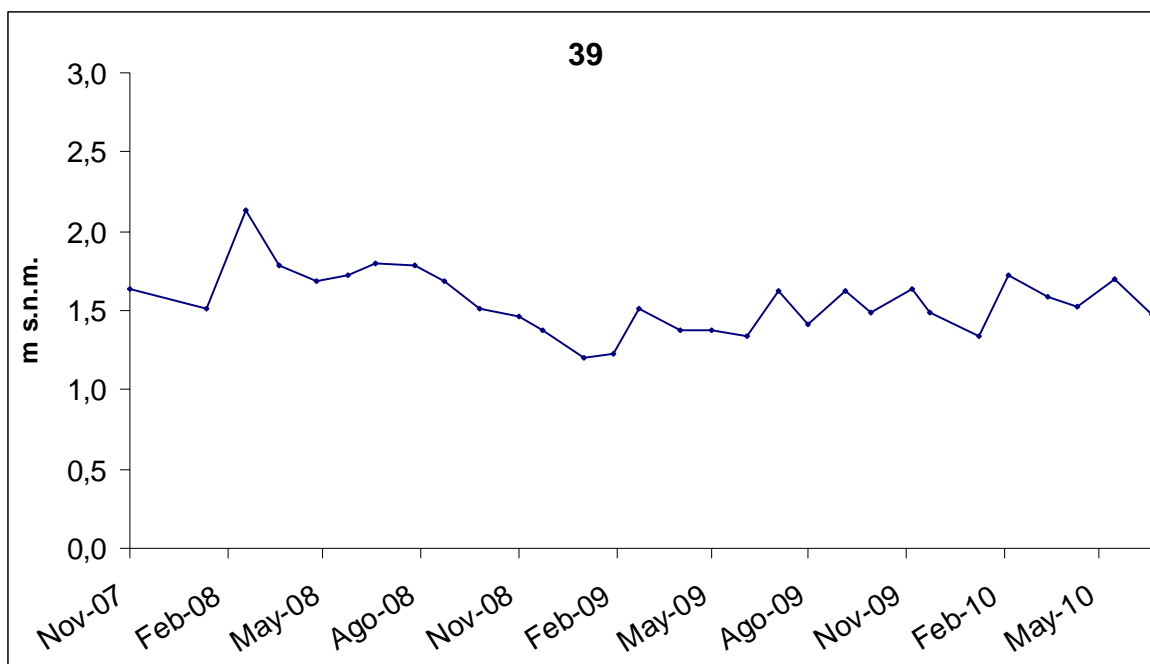


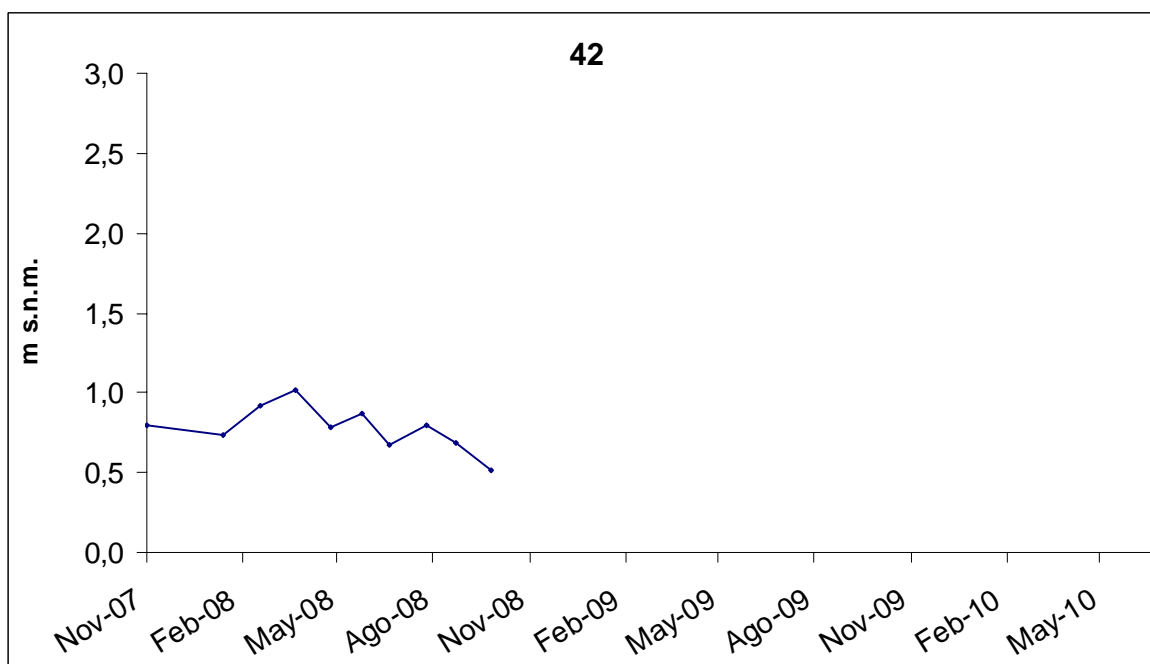
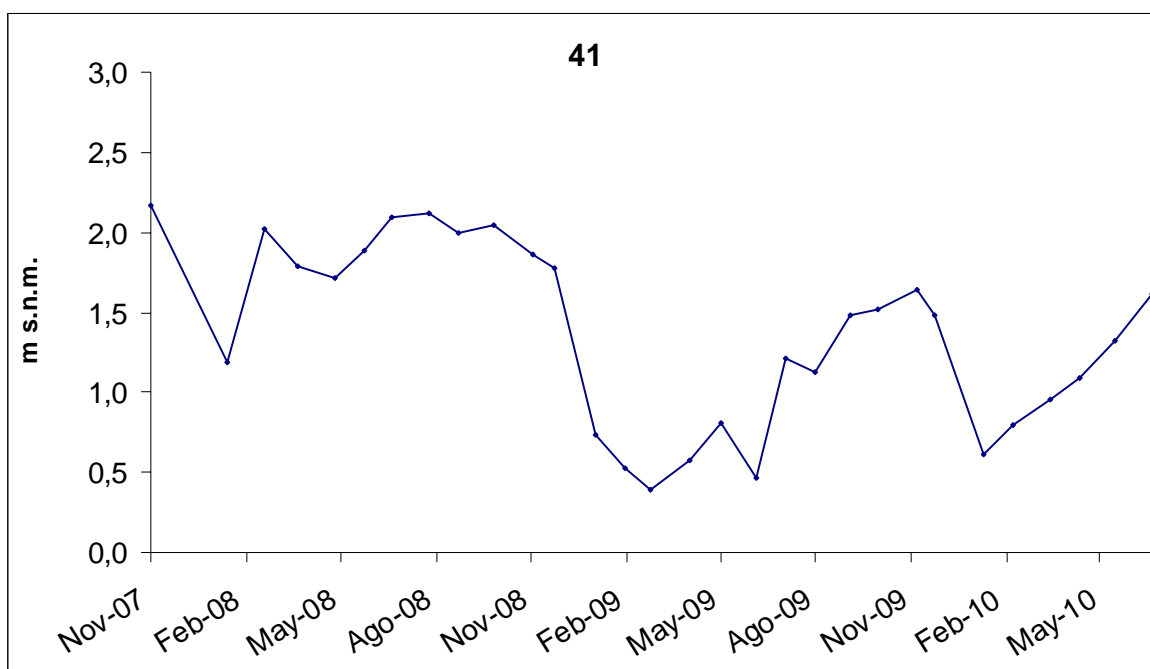


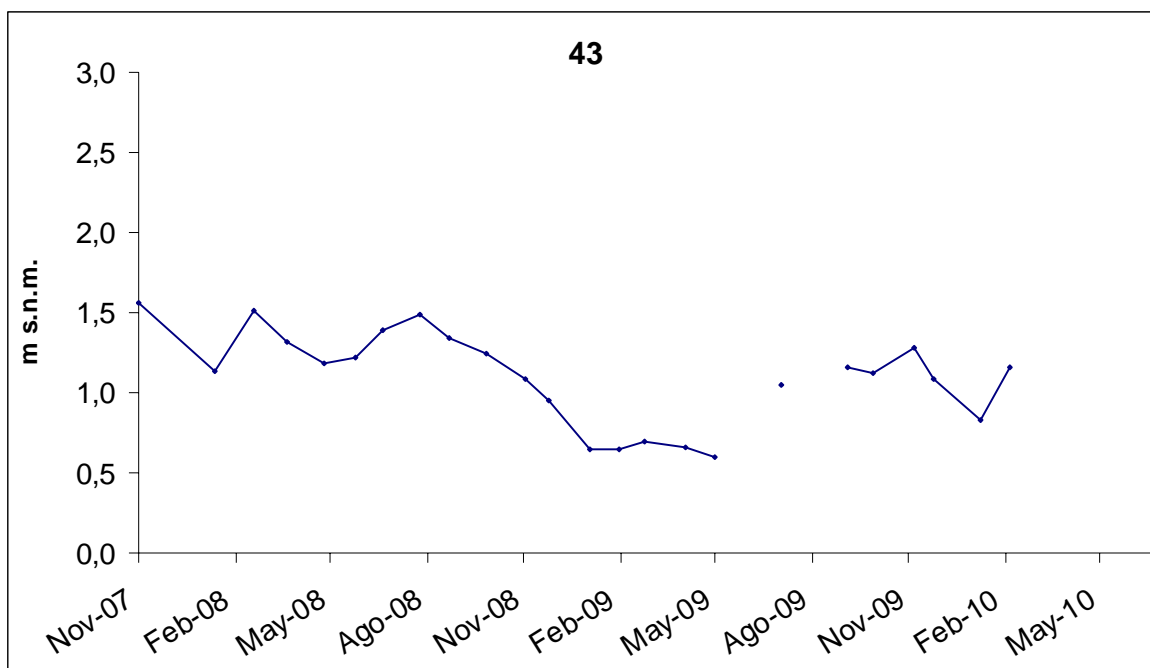












ANEXO 8

MAPAS DE ISOVARIACIÓN

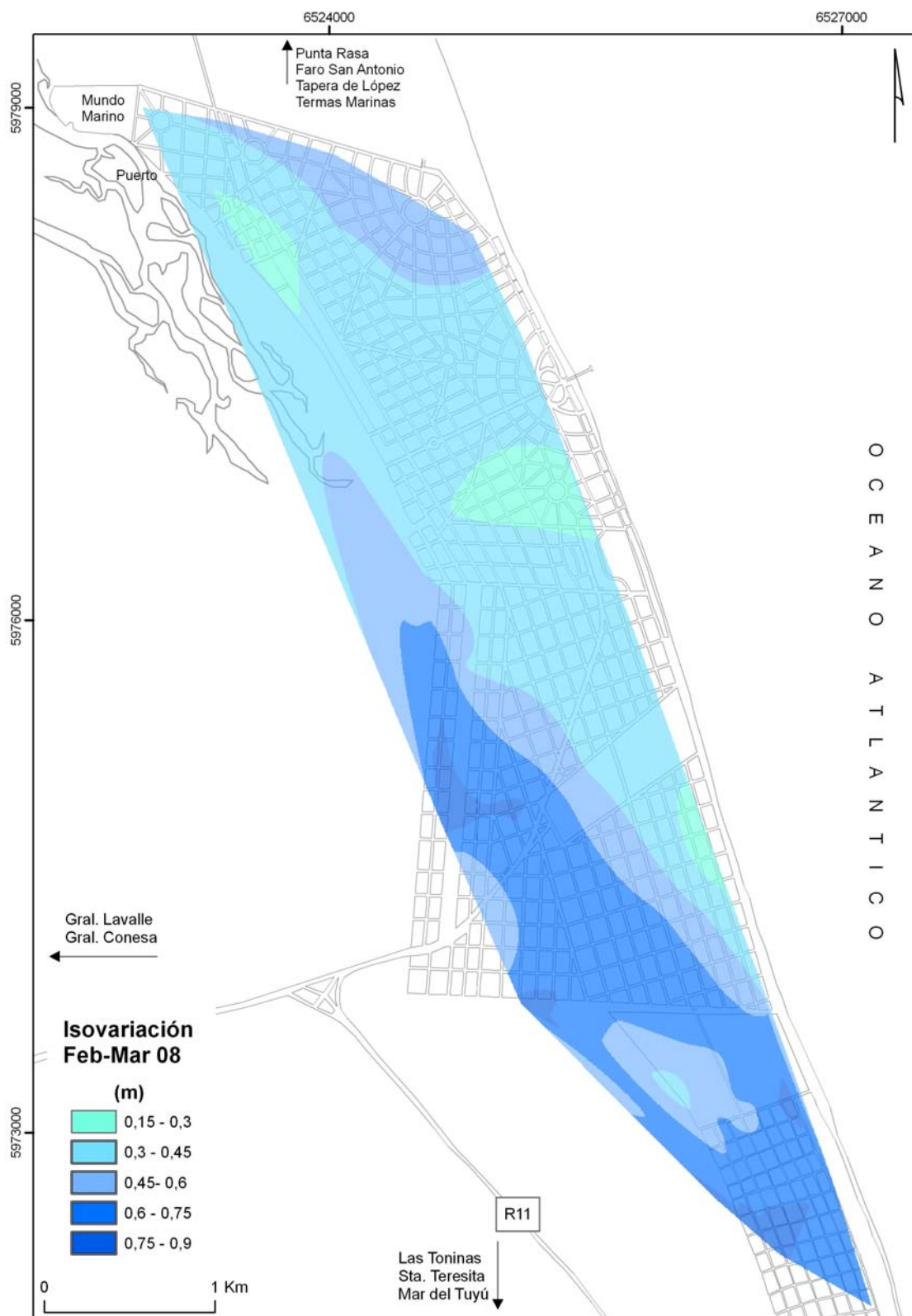


Figura 1. Mapa de isovariación de niveles freáticos para febrero-marzo de 2008

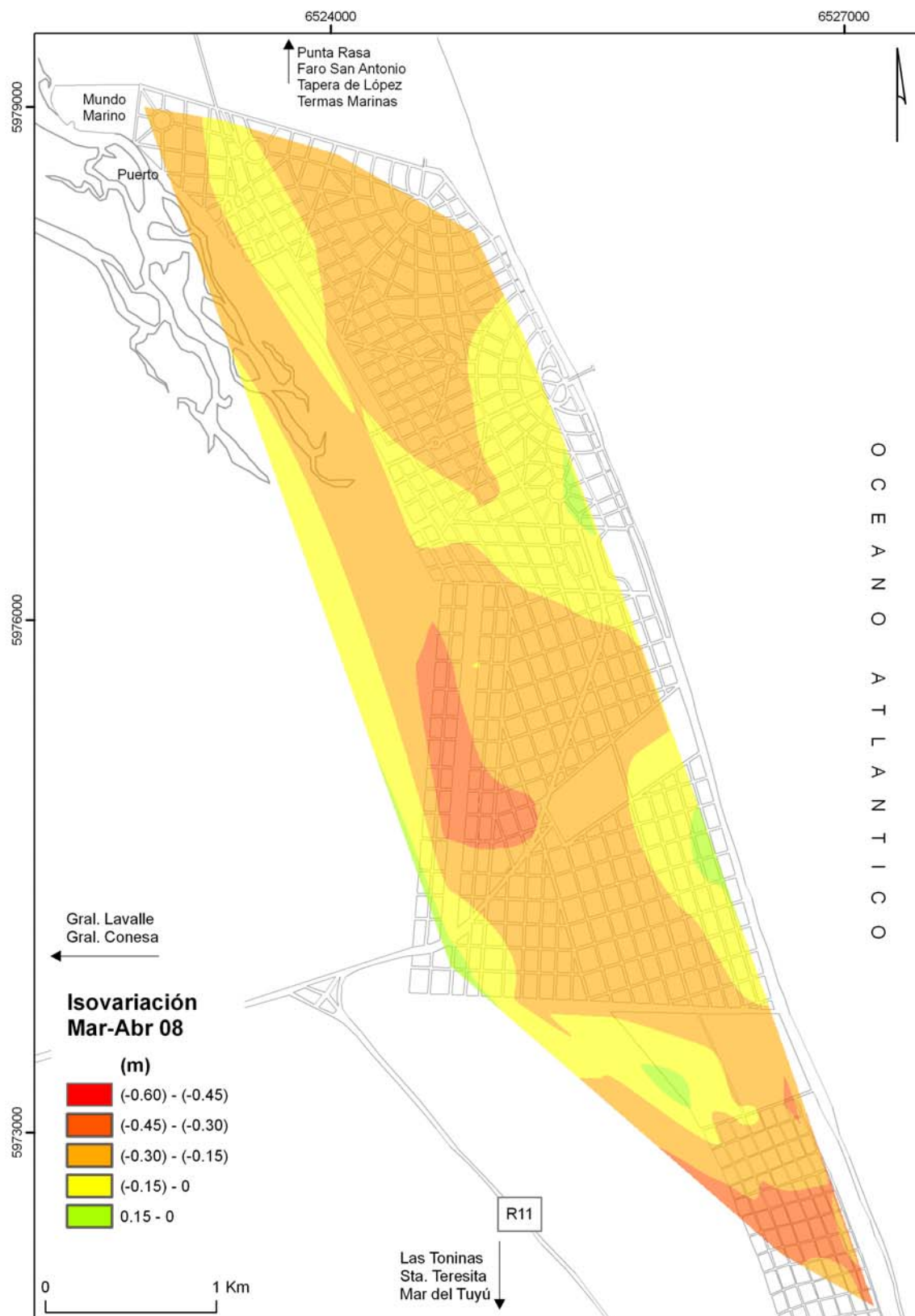


Figura 2. Mapa de isovariación de niveles freáticos para marzo-abril de 2008

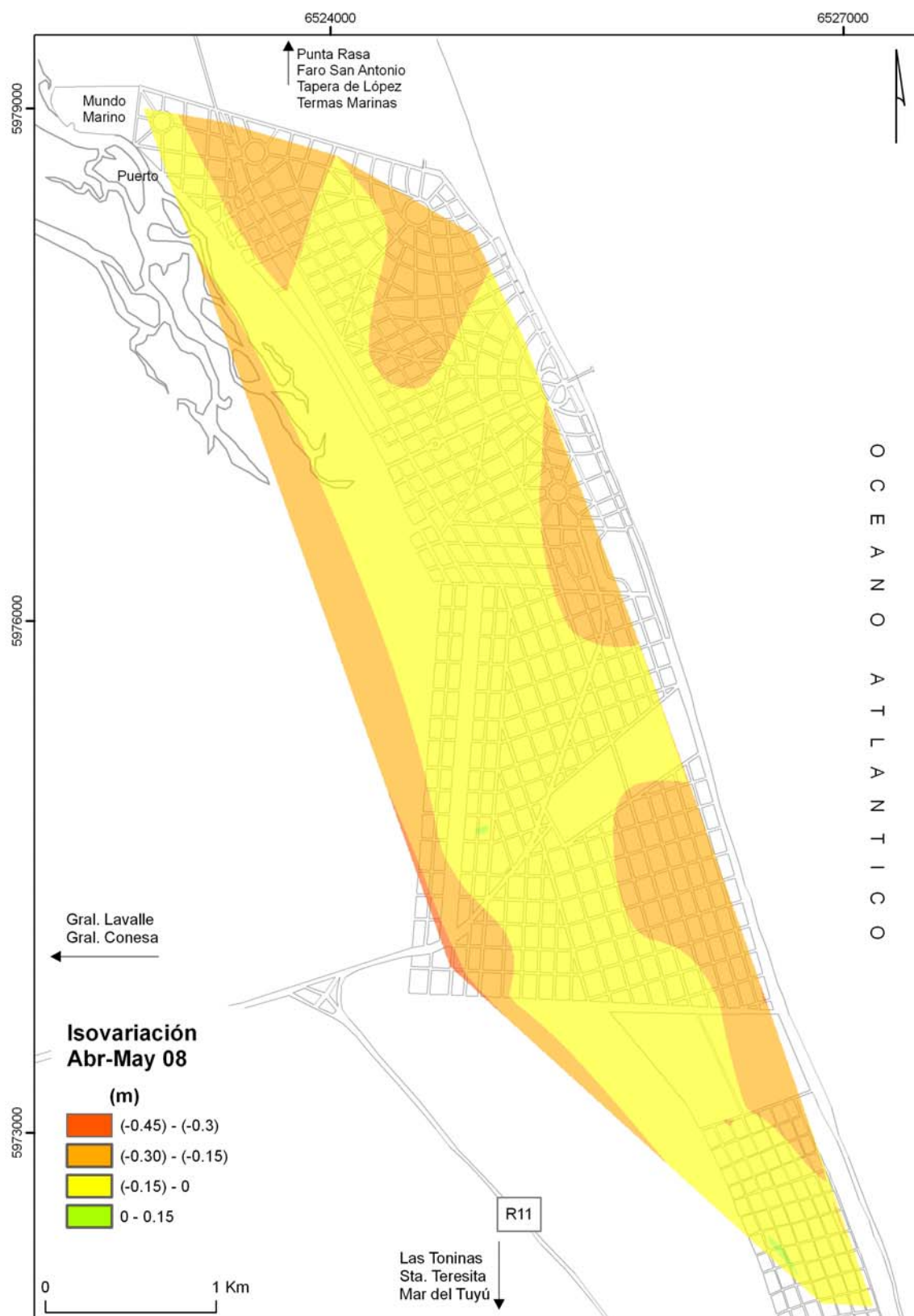


Figura 3. Mapa de isovariación de niveles freáticos para abril-mayo de 2008

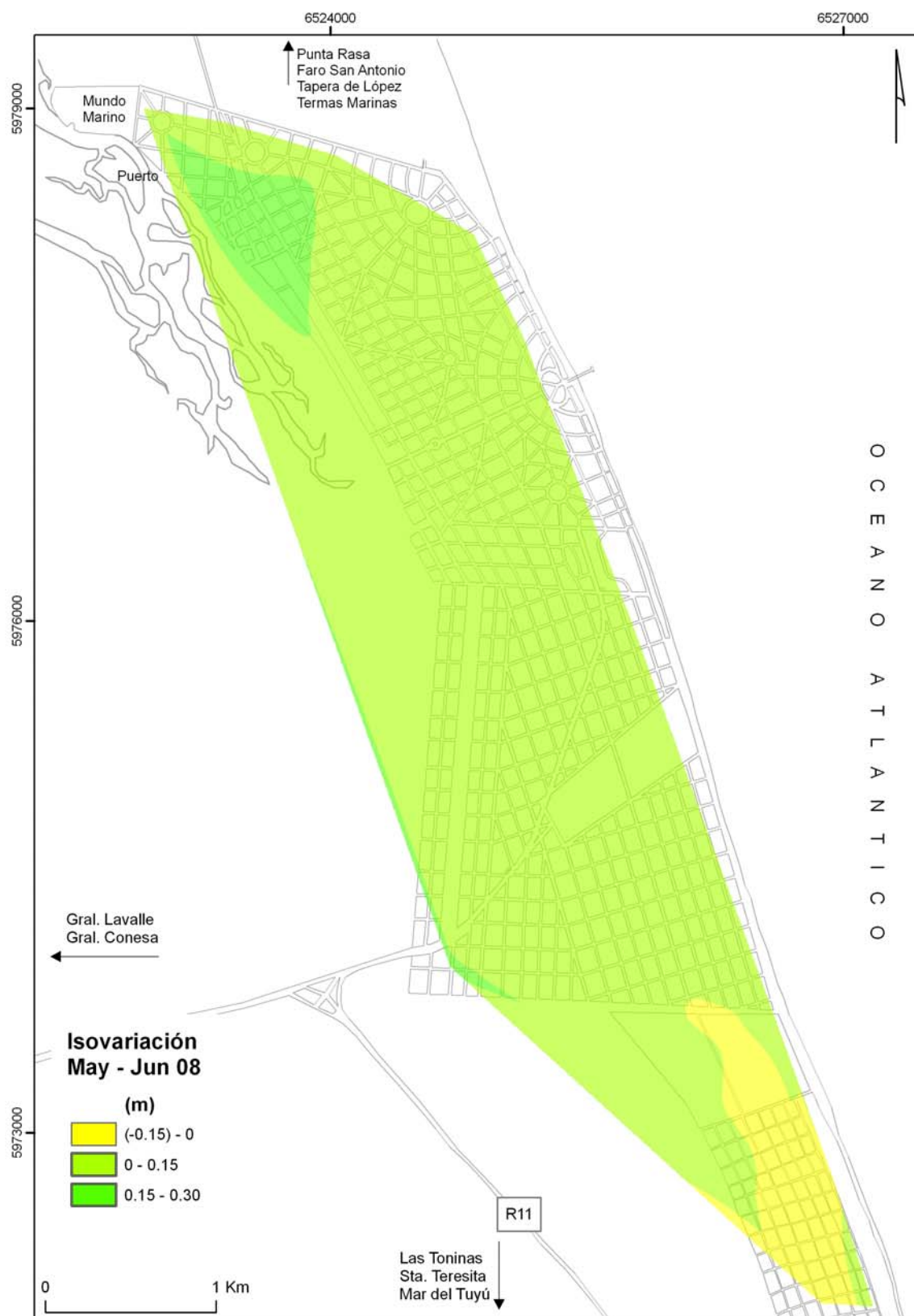


Figura 4. Mapa de isovariación de niveles freáticos para mayo-junio de 2008

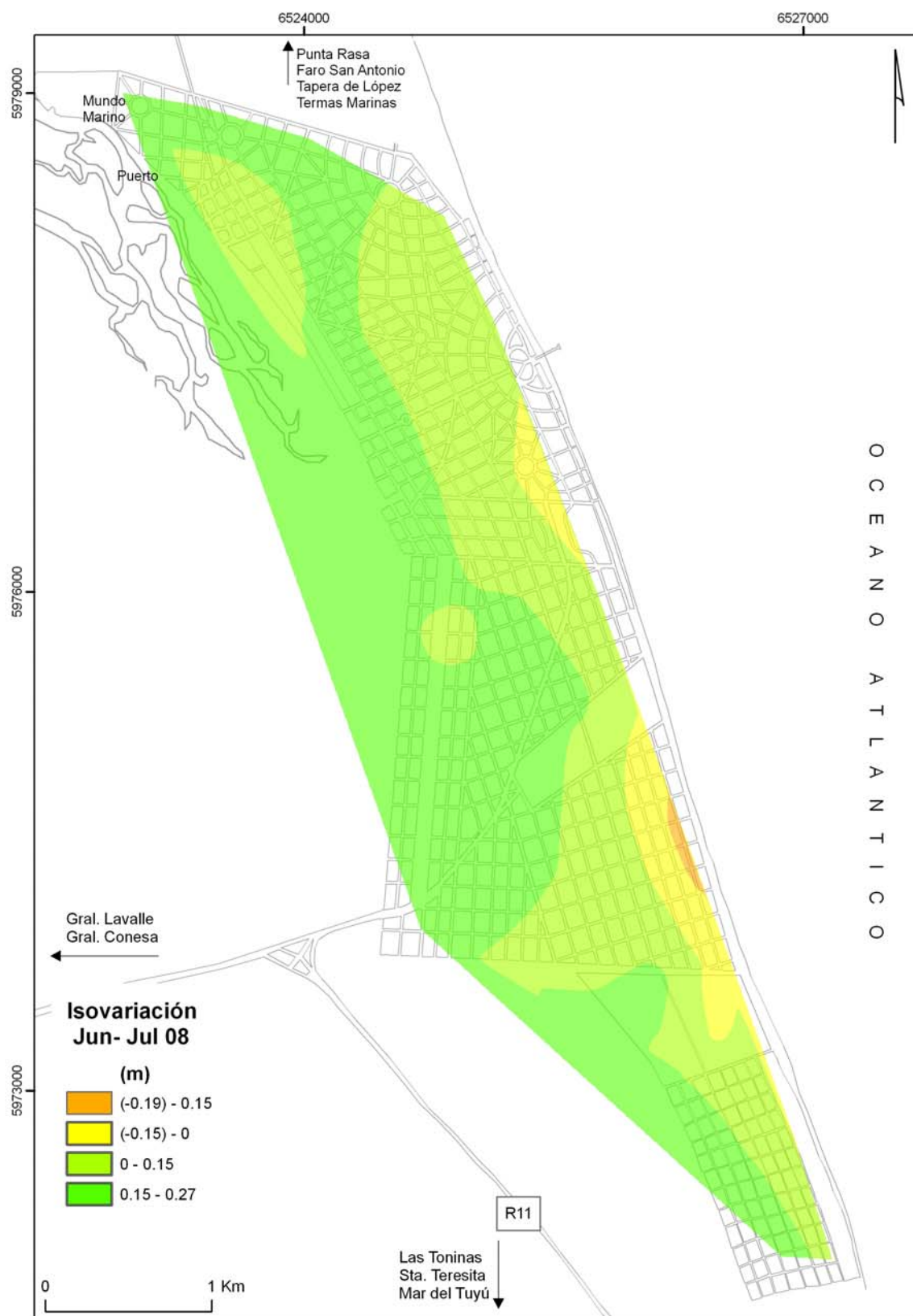


Figura 5. Mapa de isovariación de niveles freáticos para junio-julio de 2008

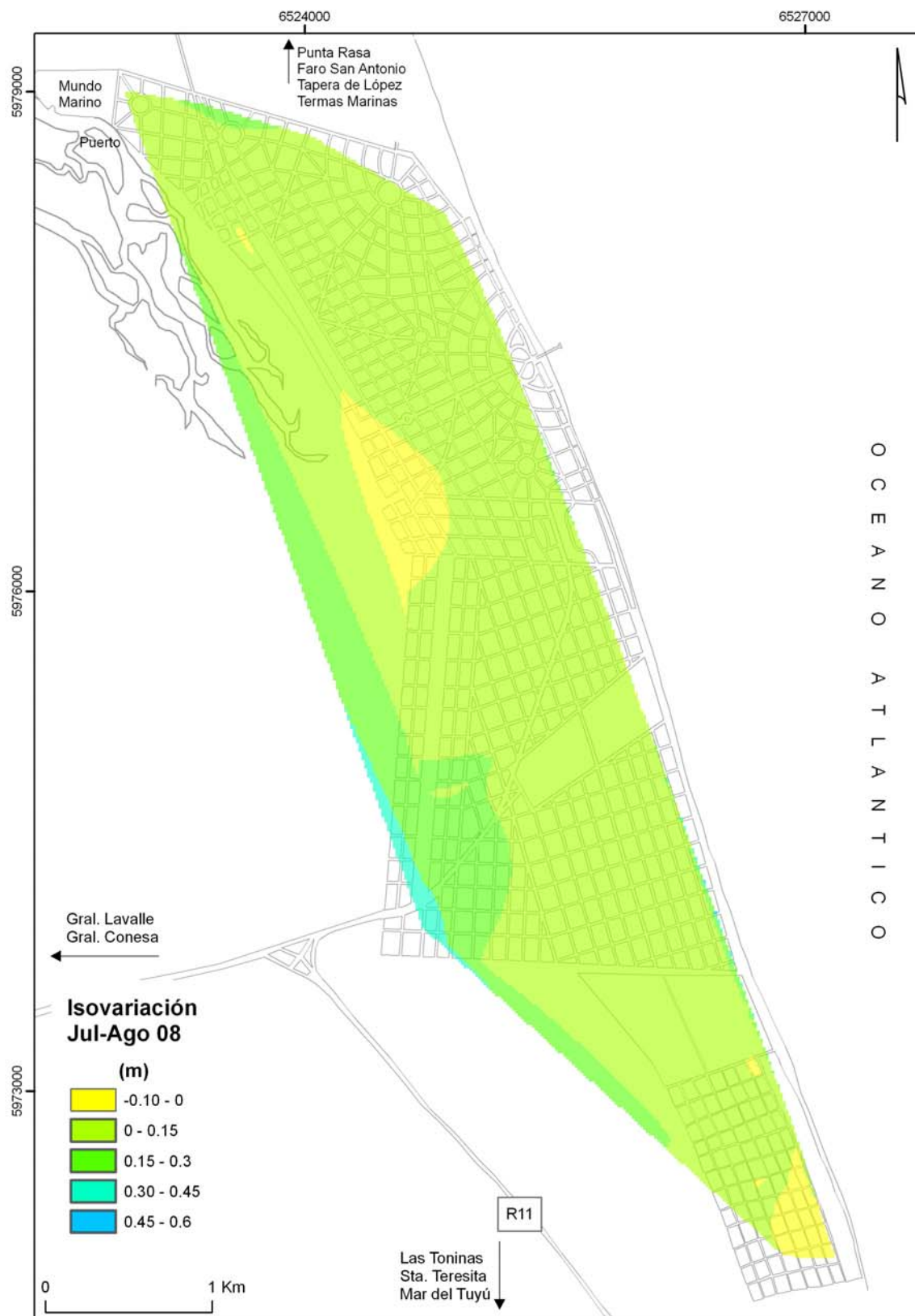


Figura 6. Mapa de isovariación de niveles freáticos para julio-agosto de 2008

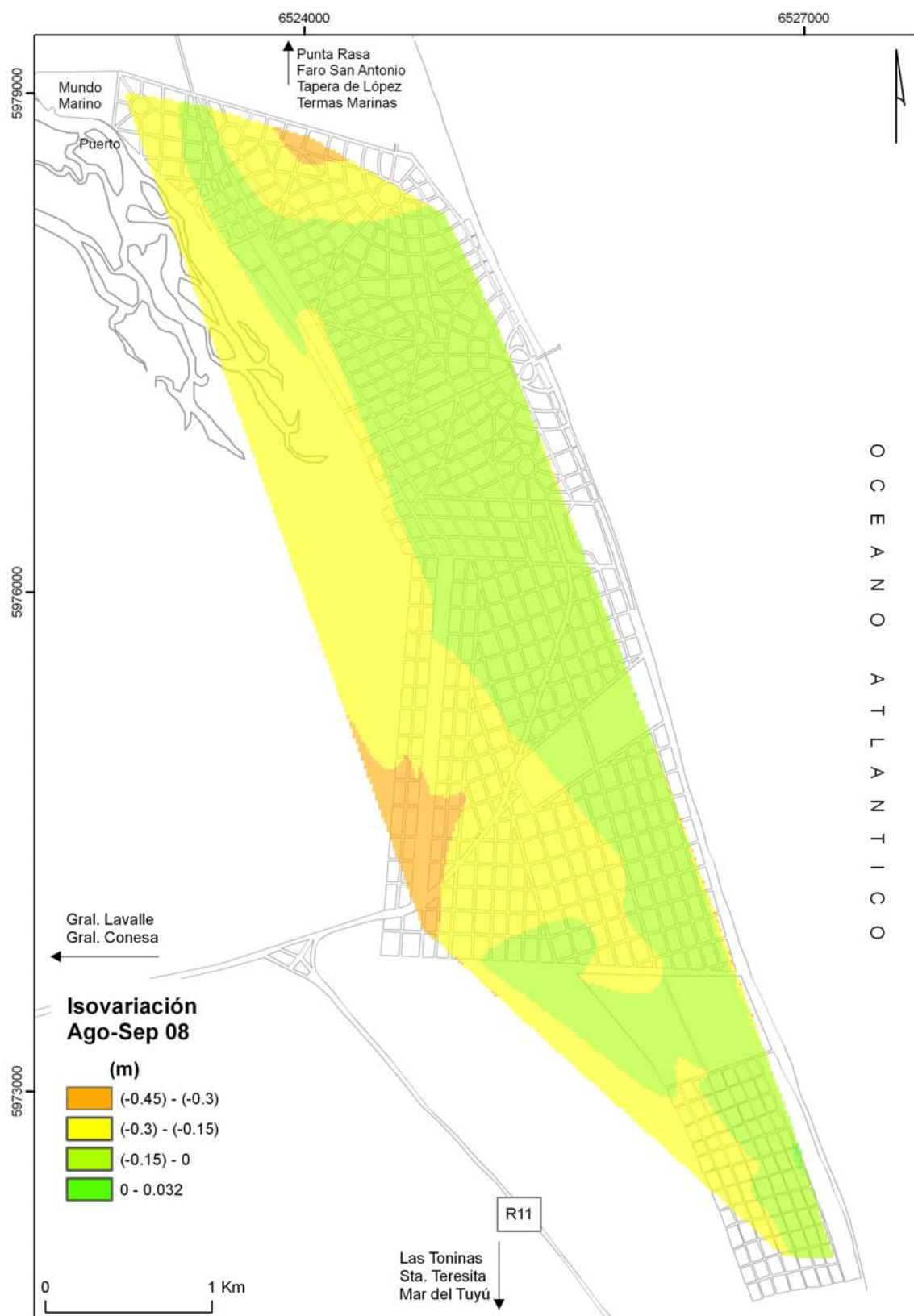


Figura 7. Mapa de isovariación de niveles freáticos para agosto-septiembre de 2008

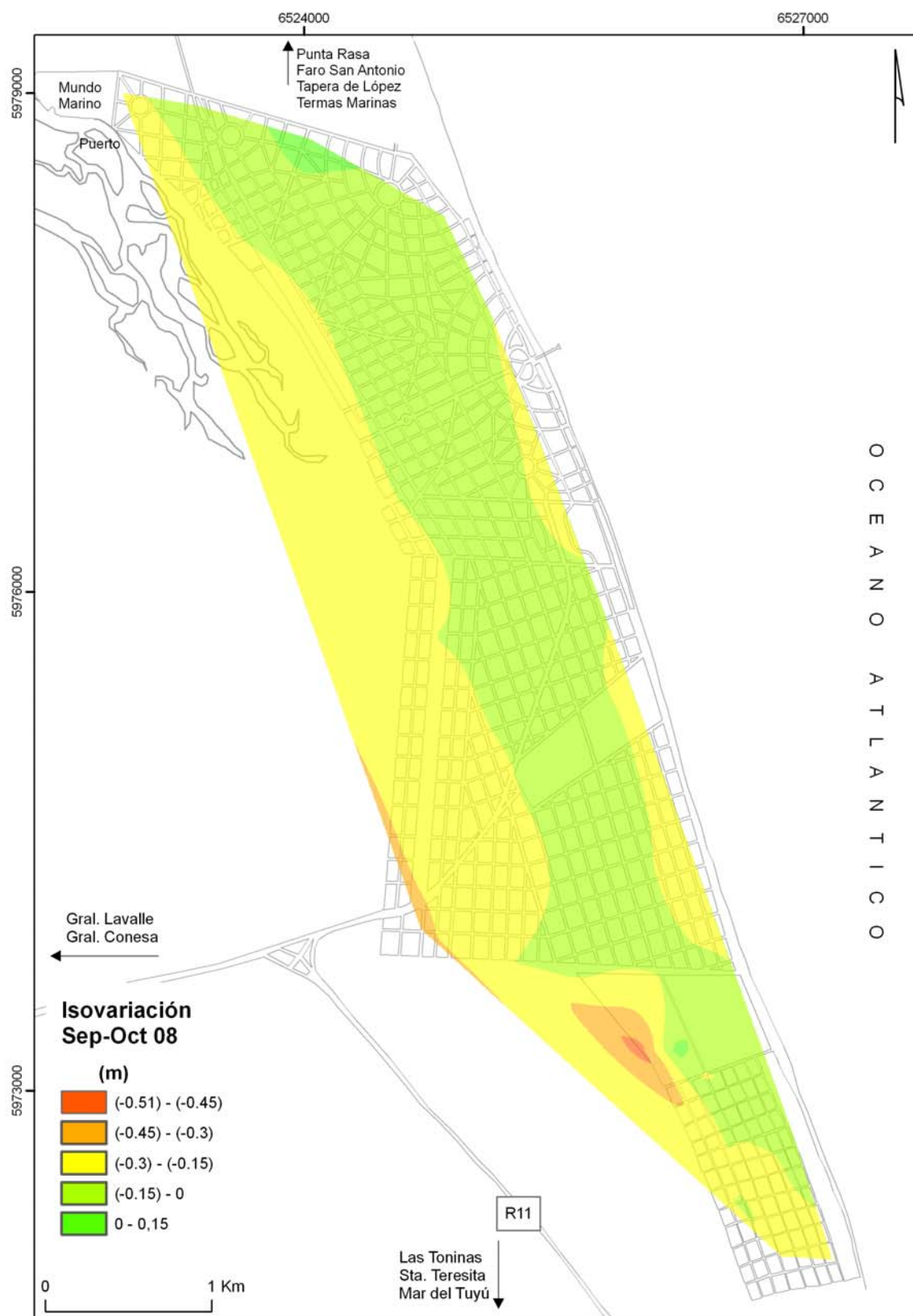


Figura 8. Mapa de isovariación de niveles freáticos para septiembre-octubre de 2008

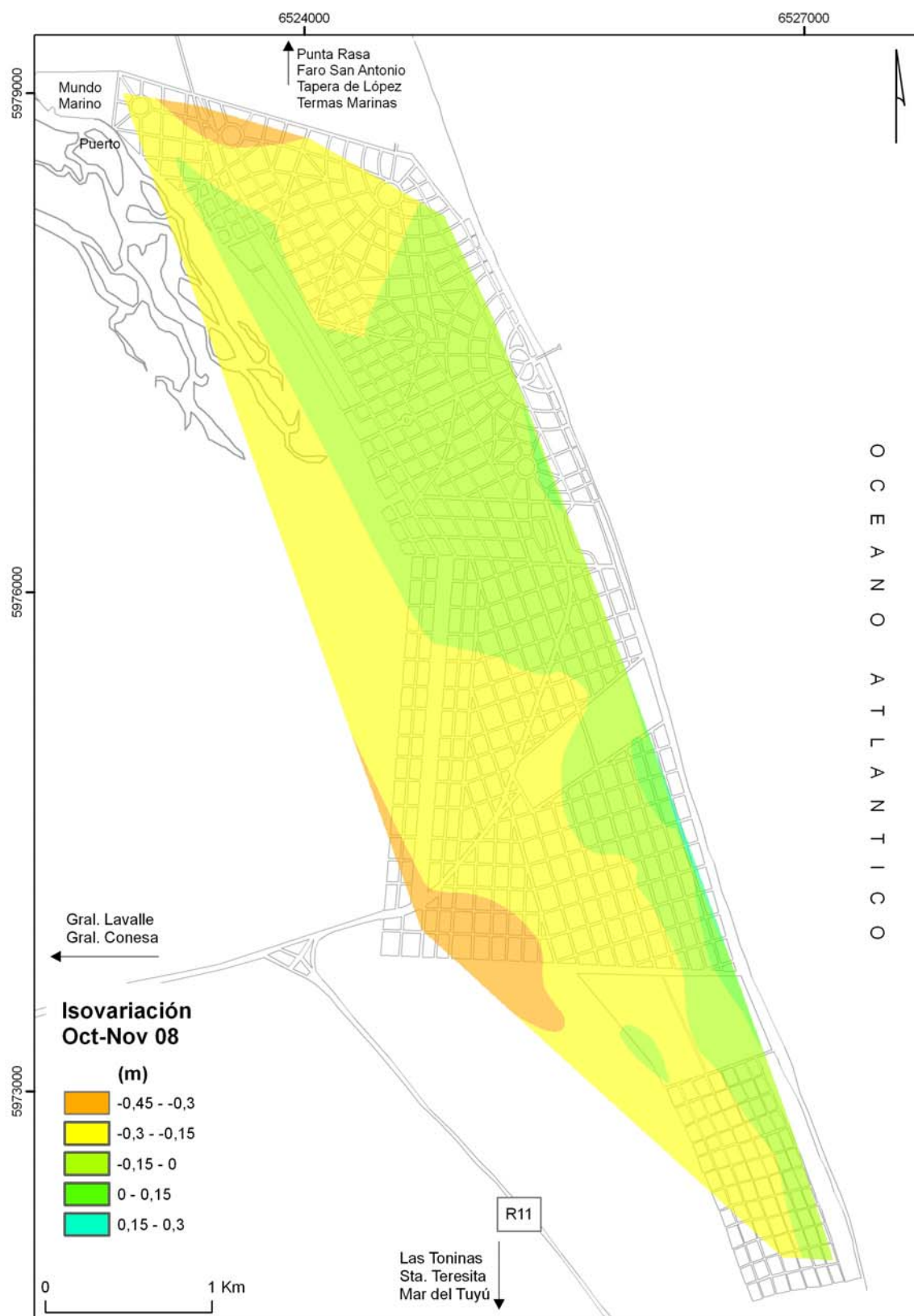


Figura 9. Mapa de isovariación de niveles freáticos para octubre-noviembre de 2008

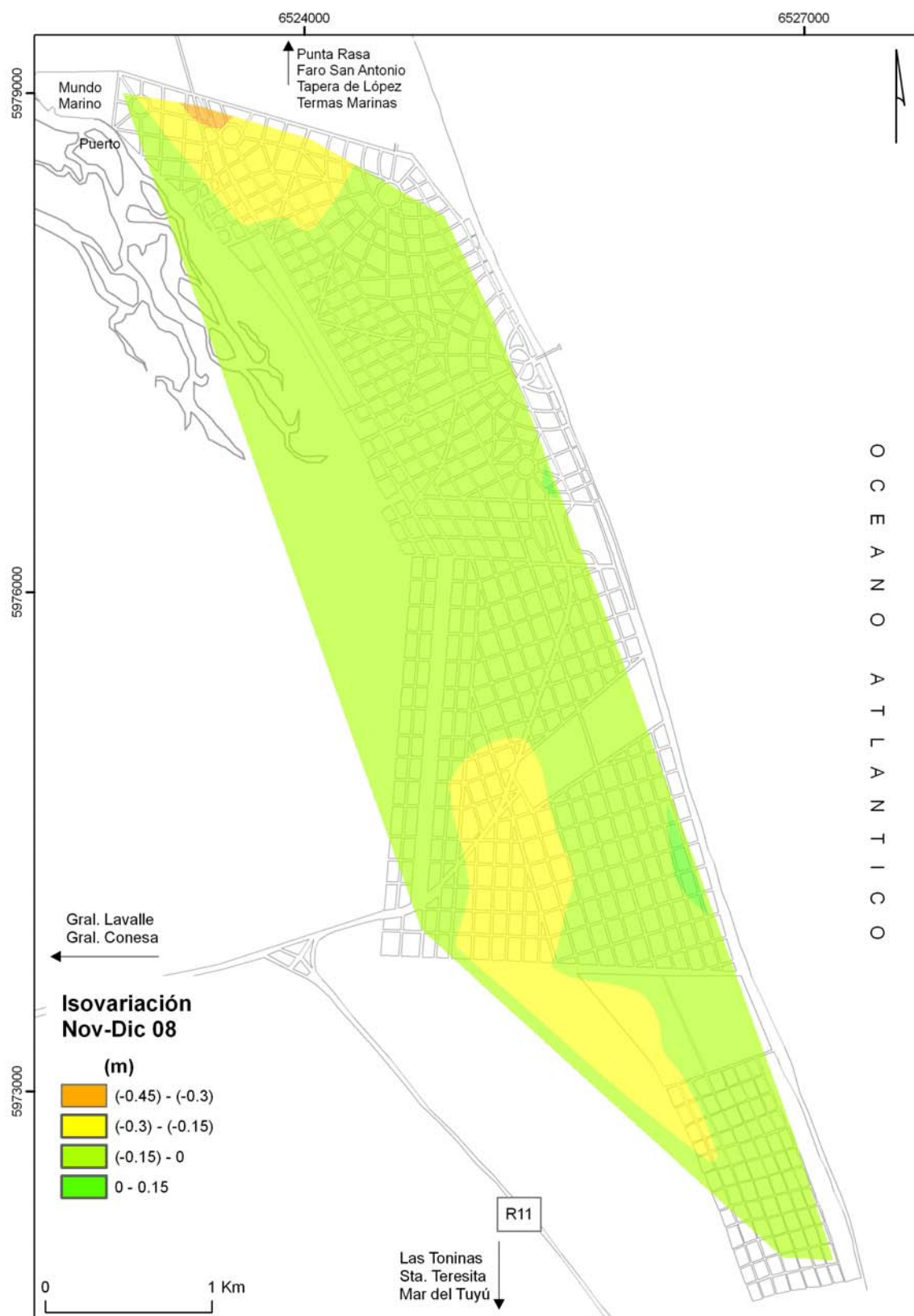


Figura 10. Mapa de isovariación de niveles freáticos para noviembre-diciembre de 2008

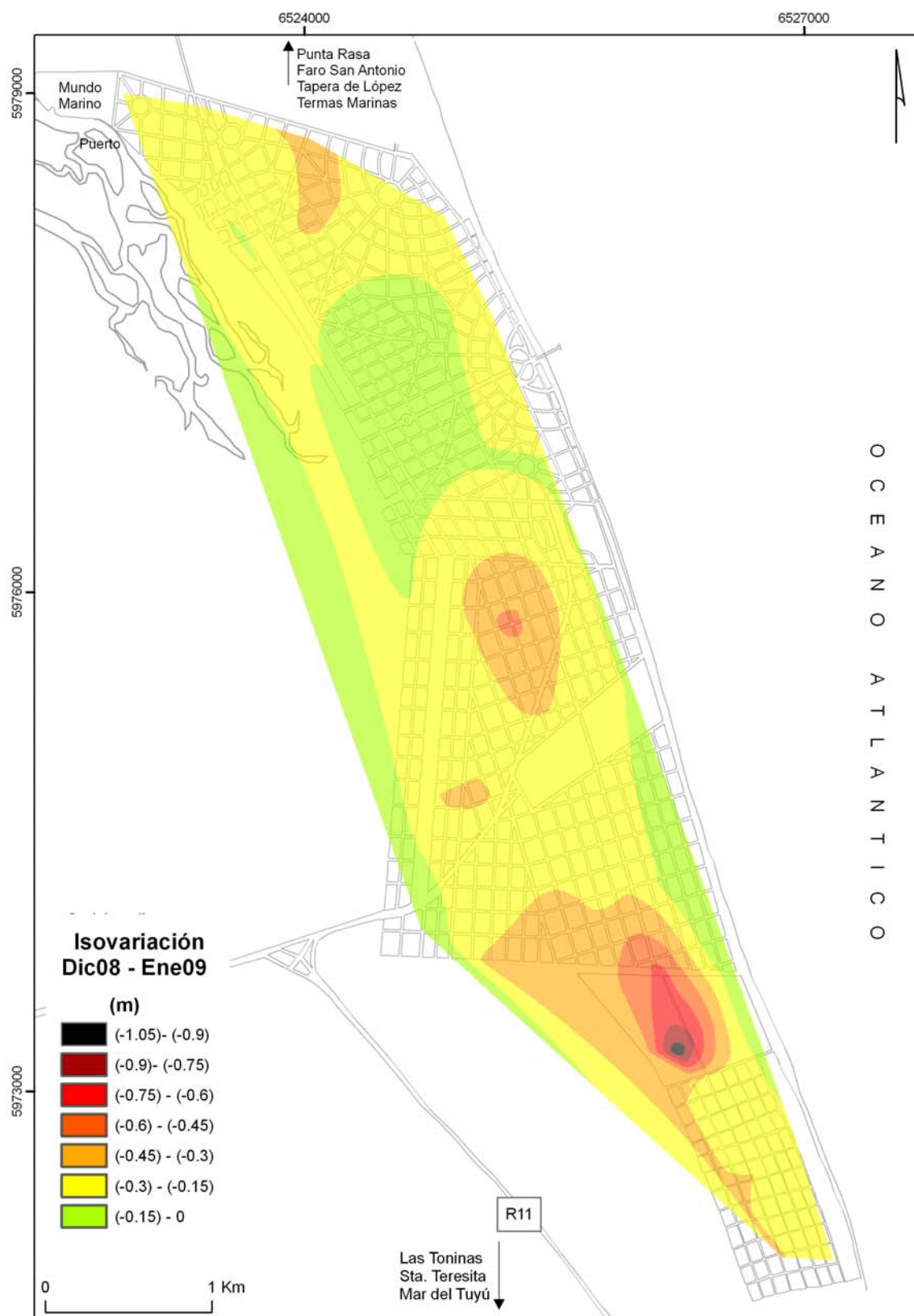


Figura 11. Mapa de isovariación de niveles freáticos para diciembre08-enero09

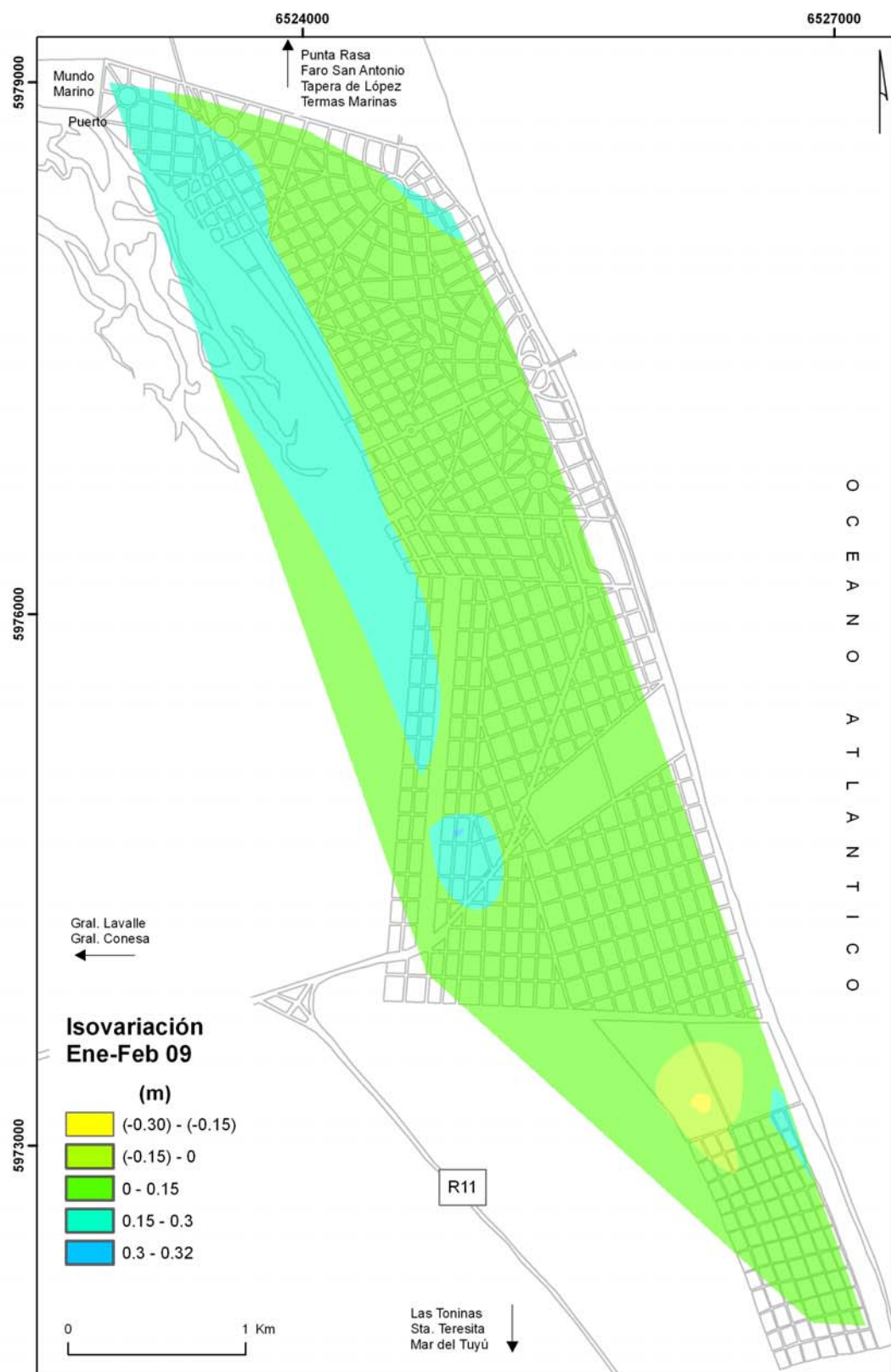


Figura 12. Mapa de isovariación de niveles freáticos para enero-febrero 2009



Figura 13. Mapa de isovariación de niveles freáticos para febrero-marzo 2009

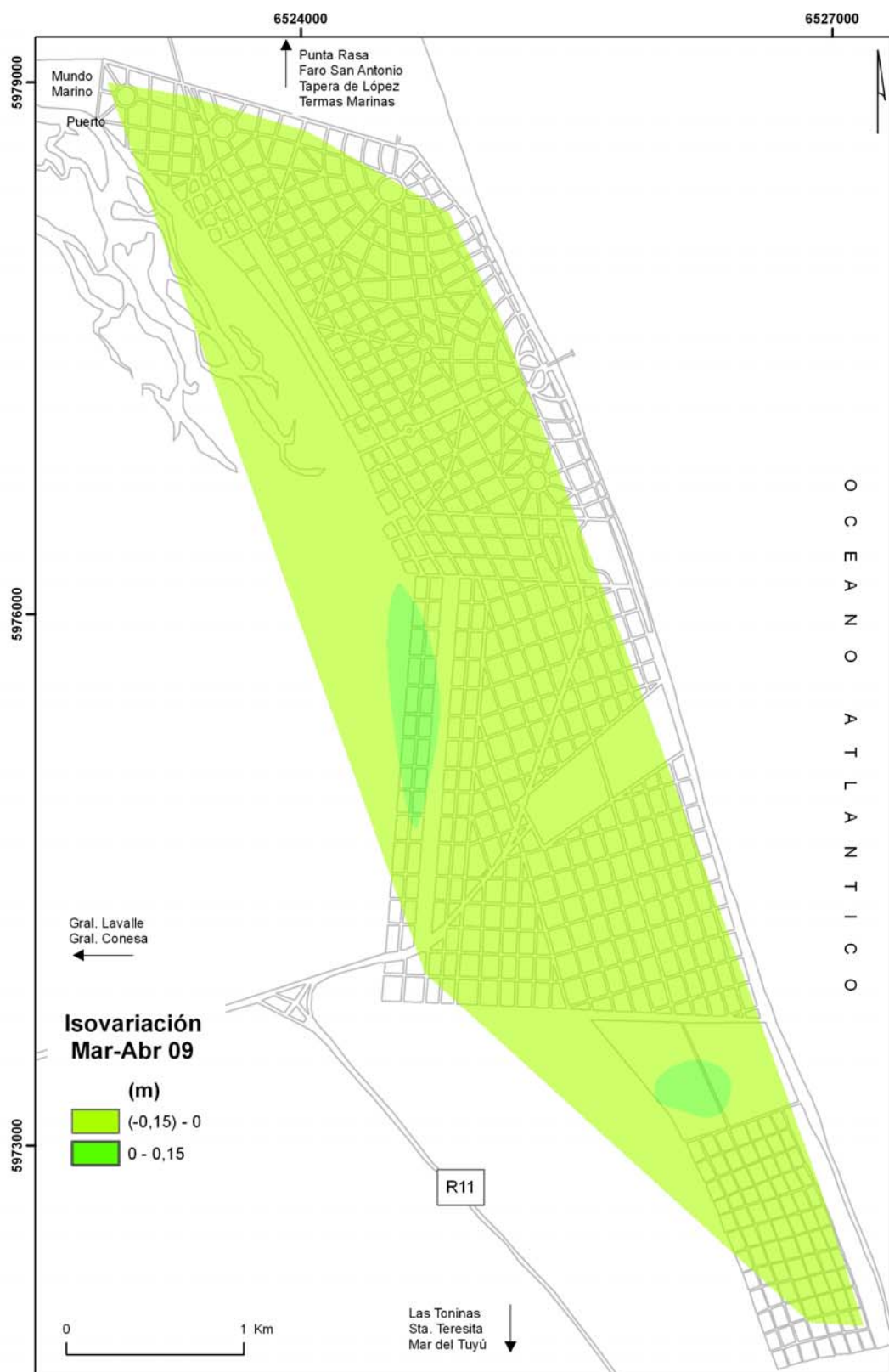


Figura 14. Mapa de isovariación de niveles freáticos para marzo-abril 2009



Figura 15. Mapa de isovariación de niveles freáticos para abril-mayo 2009



Figura 16. Mapa de isovariación de niveles freáticos para mayo- junio 2009

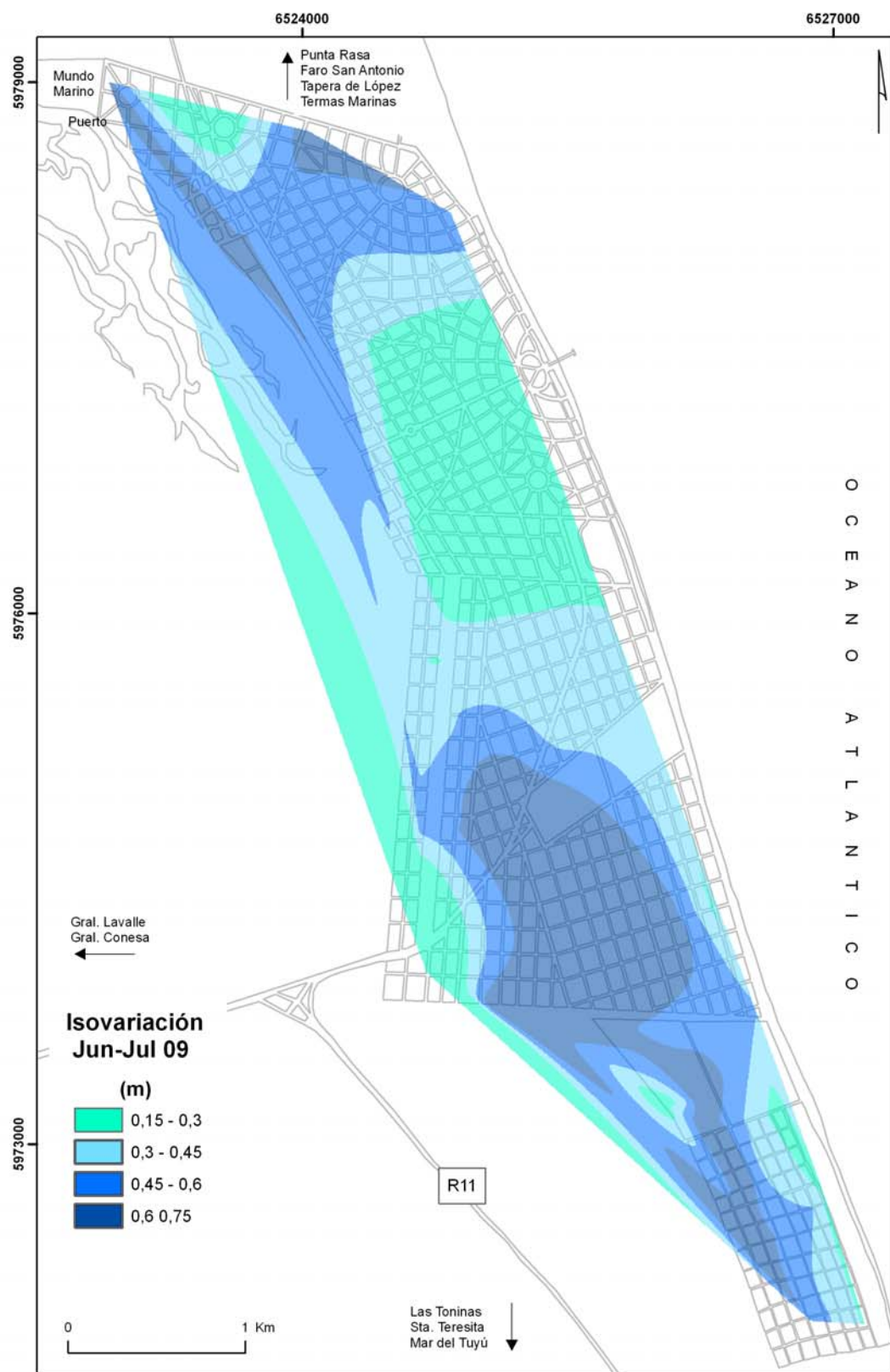


Figura 17. Mapa de isovariación de niveles freáticos para junio-julio 2009

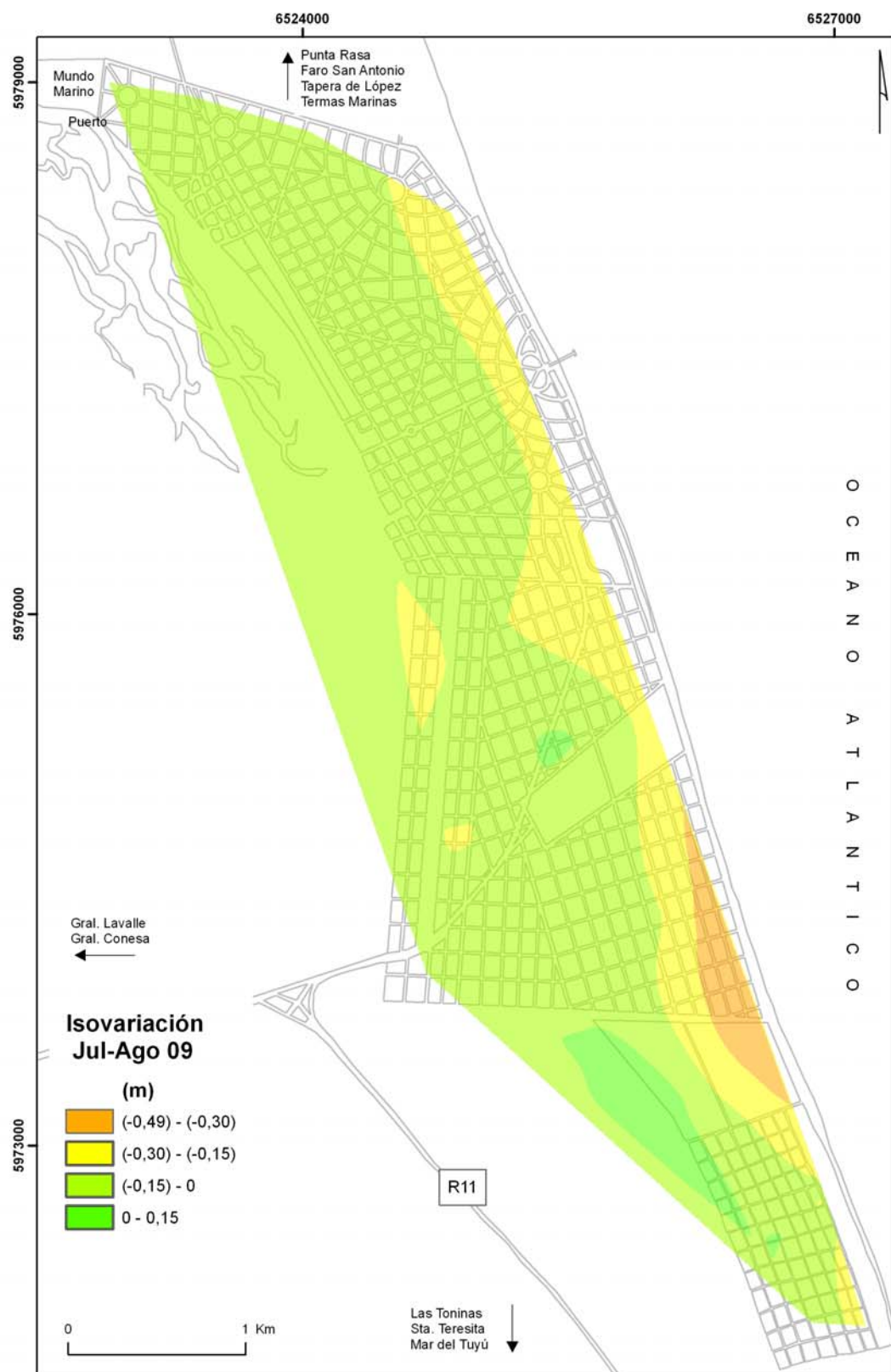


Figura 18. Mapa de isovariación de niveles freáticos para julio-agosto 2009

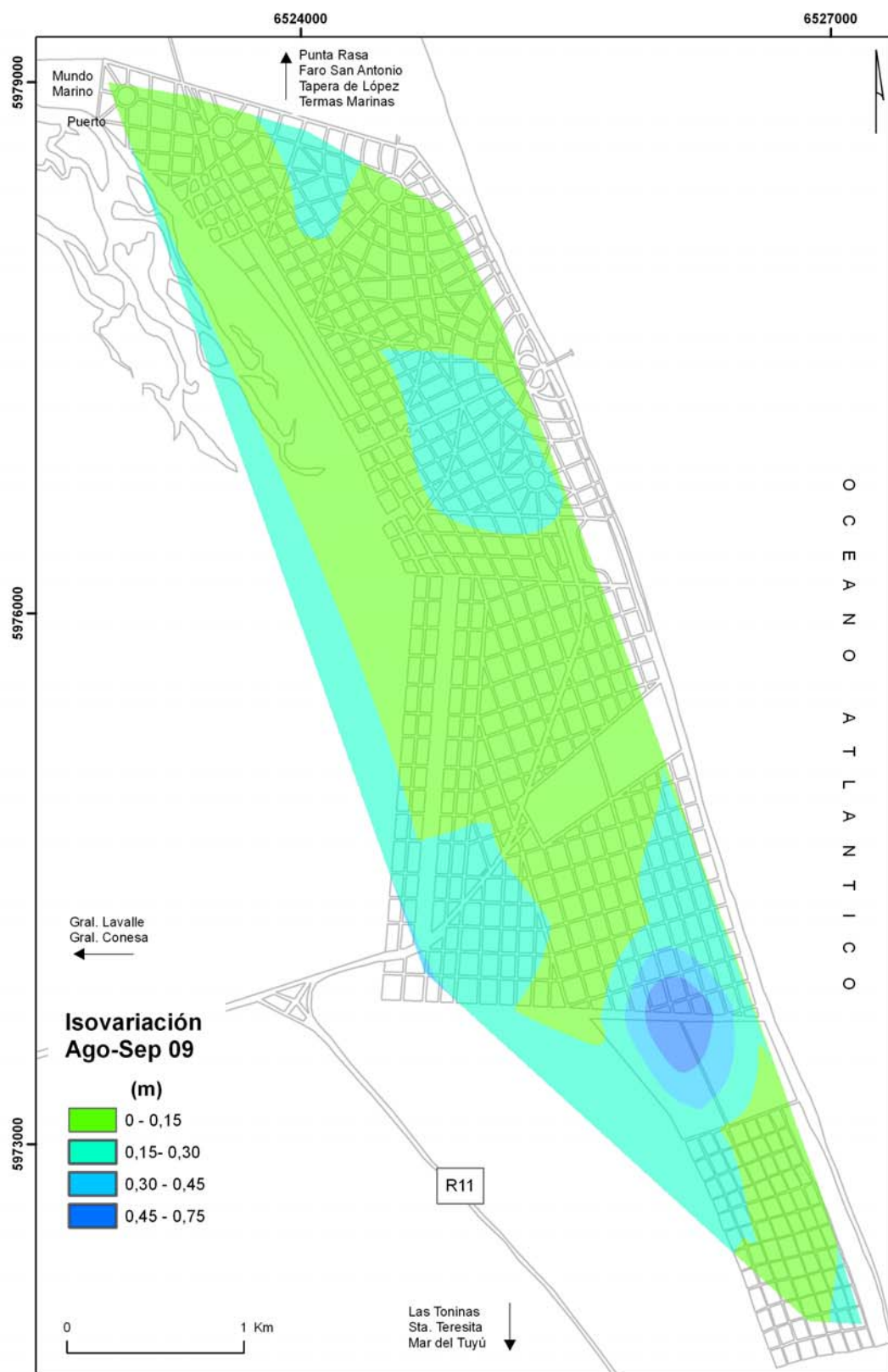


Figura 19. Mapa de isovariación de niveles freáticos para agosto-septiembre 2009

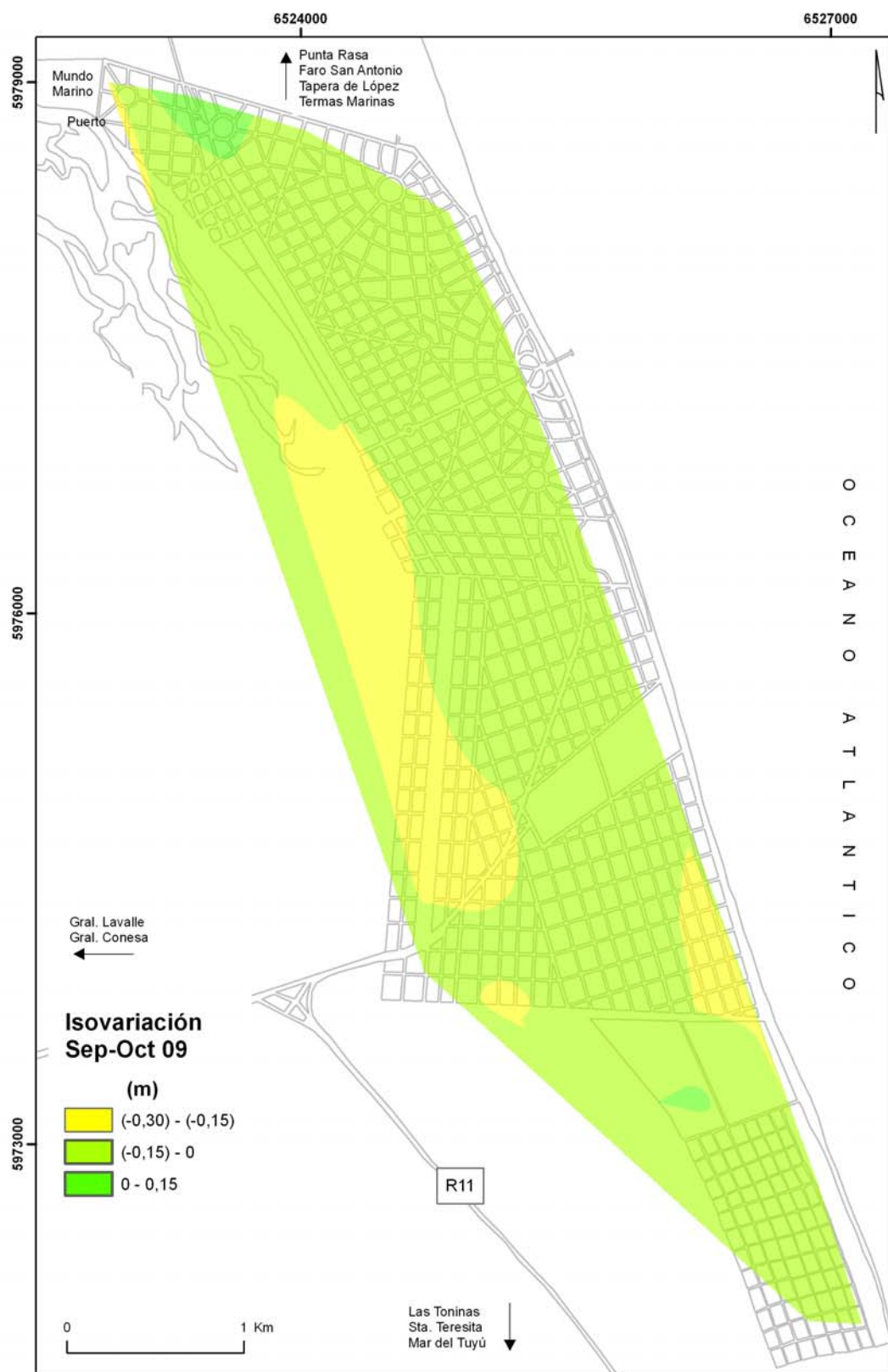


Figura 20. Mapa de isovariación de niveles freáticos para septiembre-octubre 2009

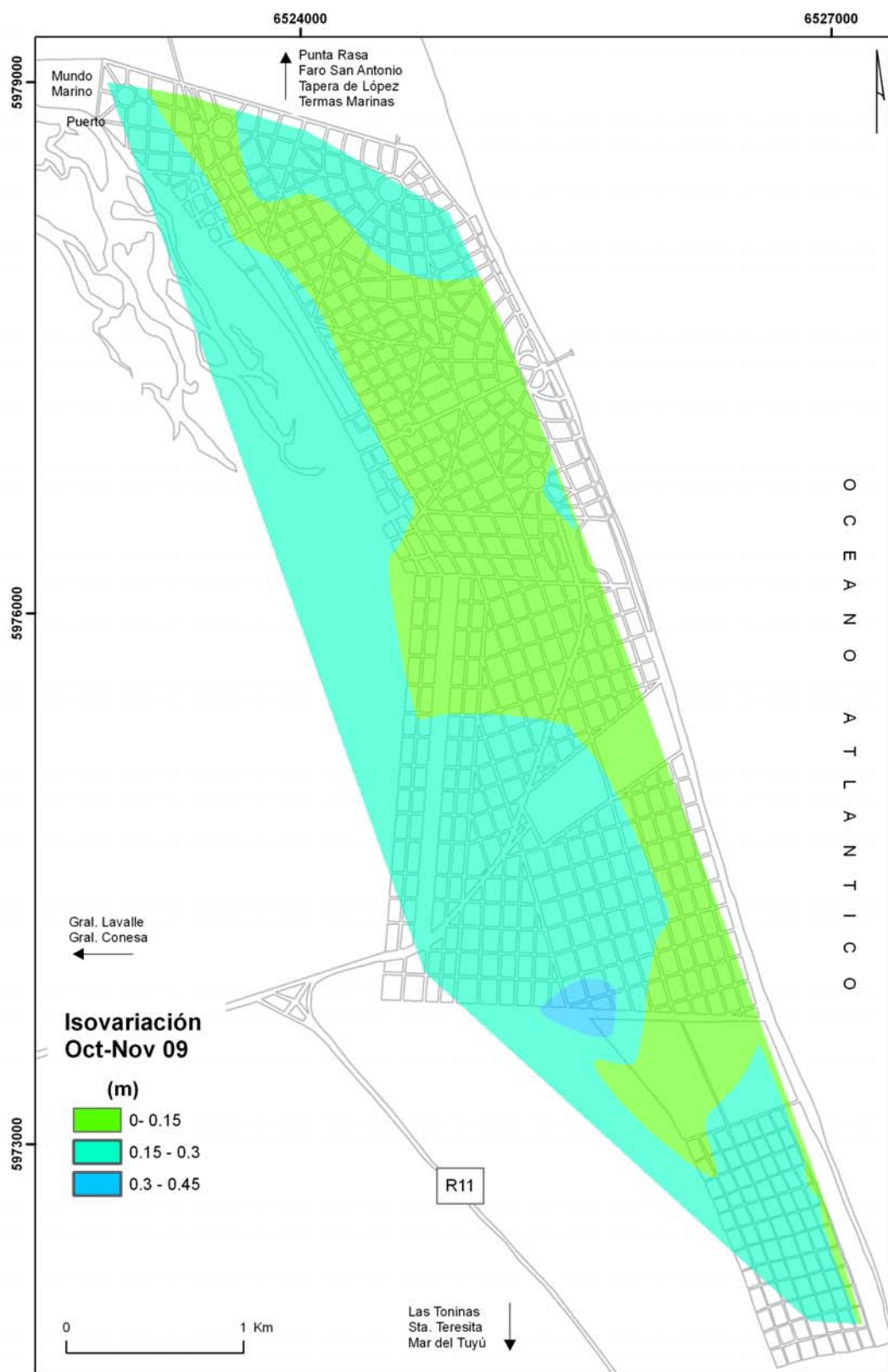


Figura 21. Mapa de isovariación de niveles freáticos para octubre-noviembre 2009

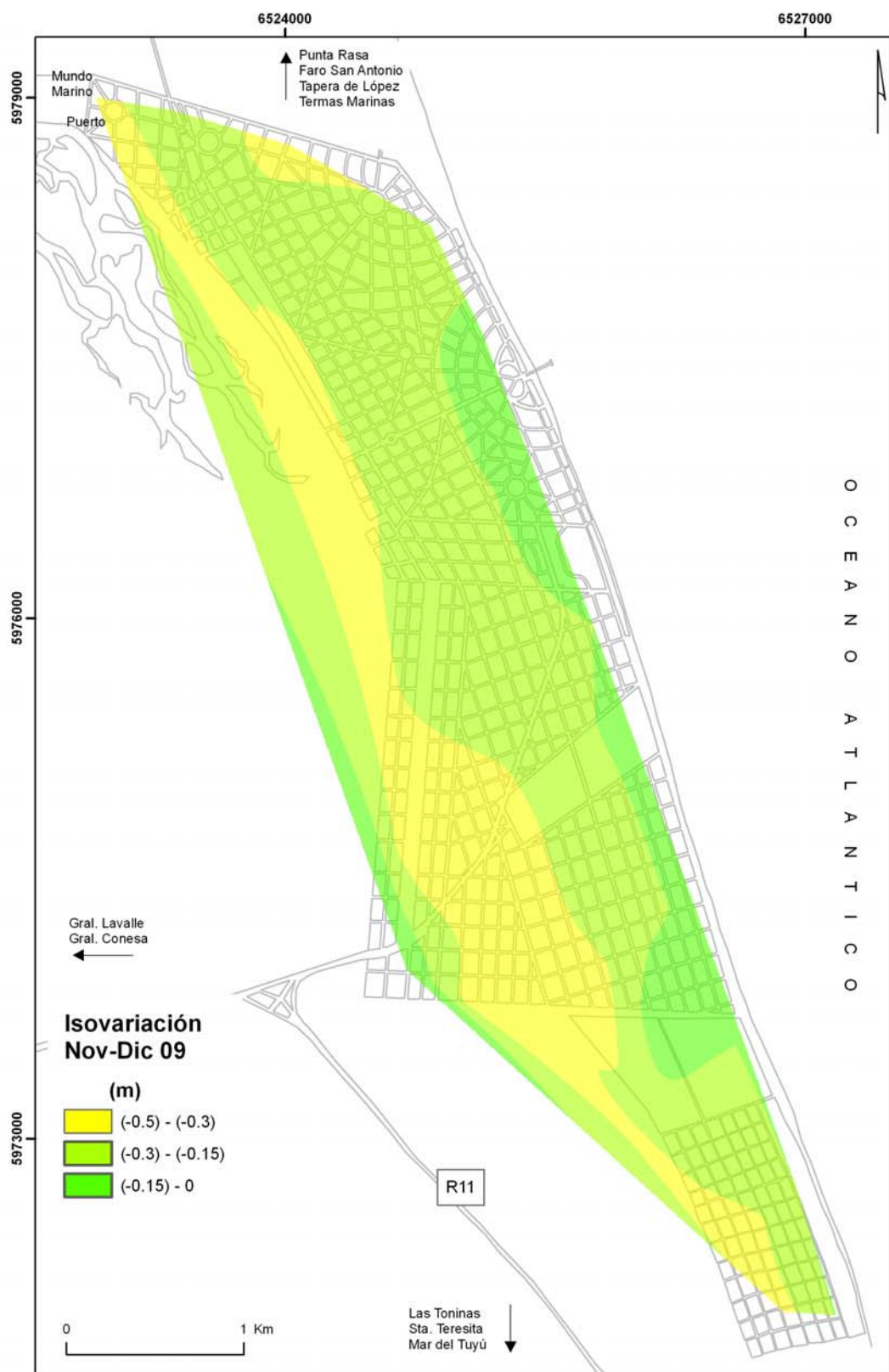


Figura 22. Mapa de isovariación de niveles freáticos para noviembre-diciembre 2009

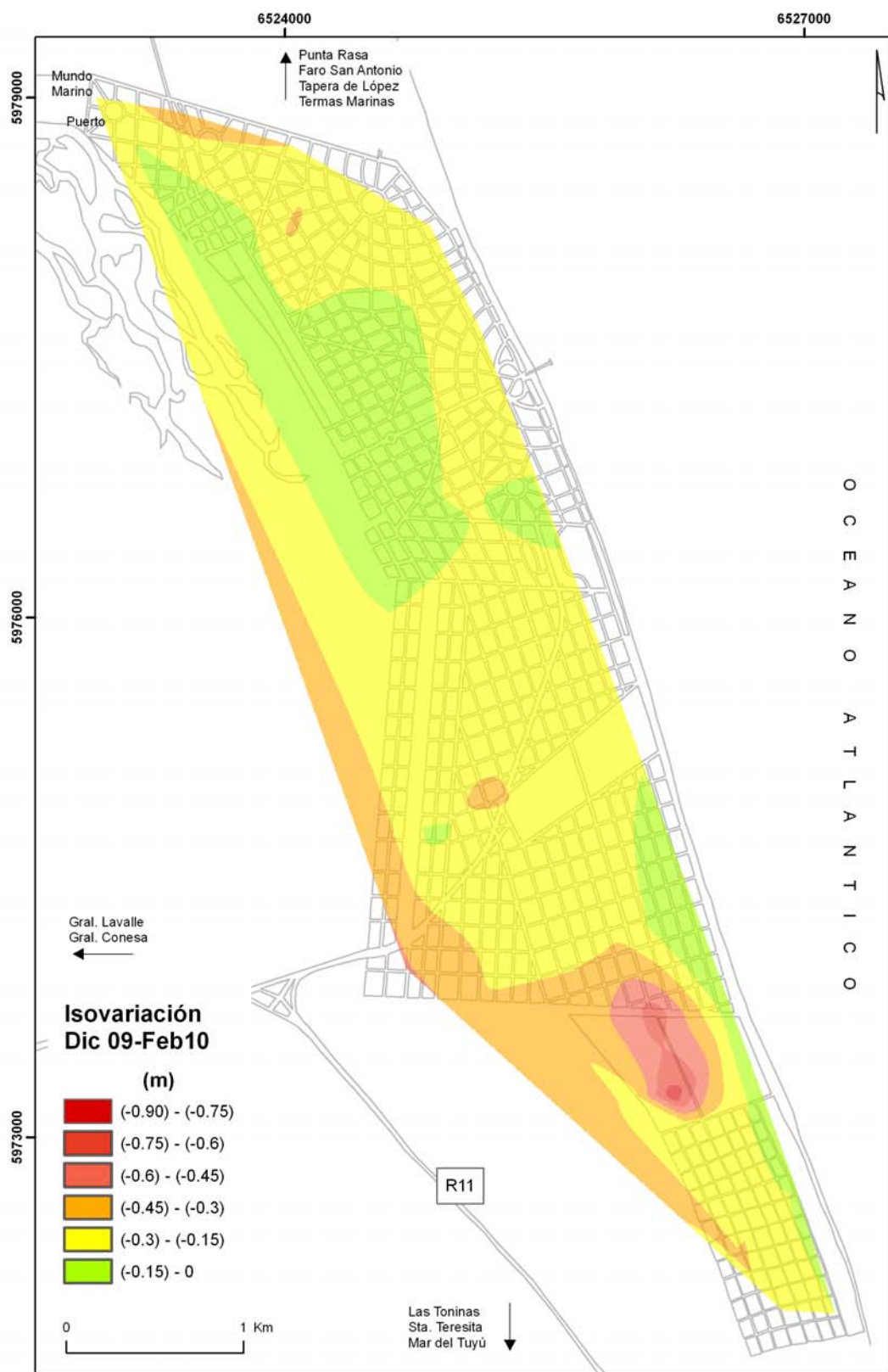


Figura 23. Mapa de isovariación de niveles freáticos para diciembre09-febrero10

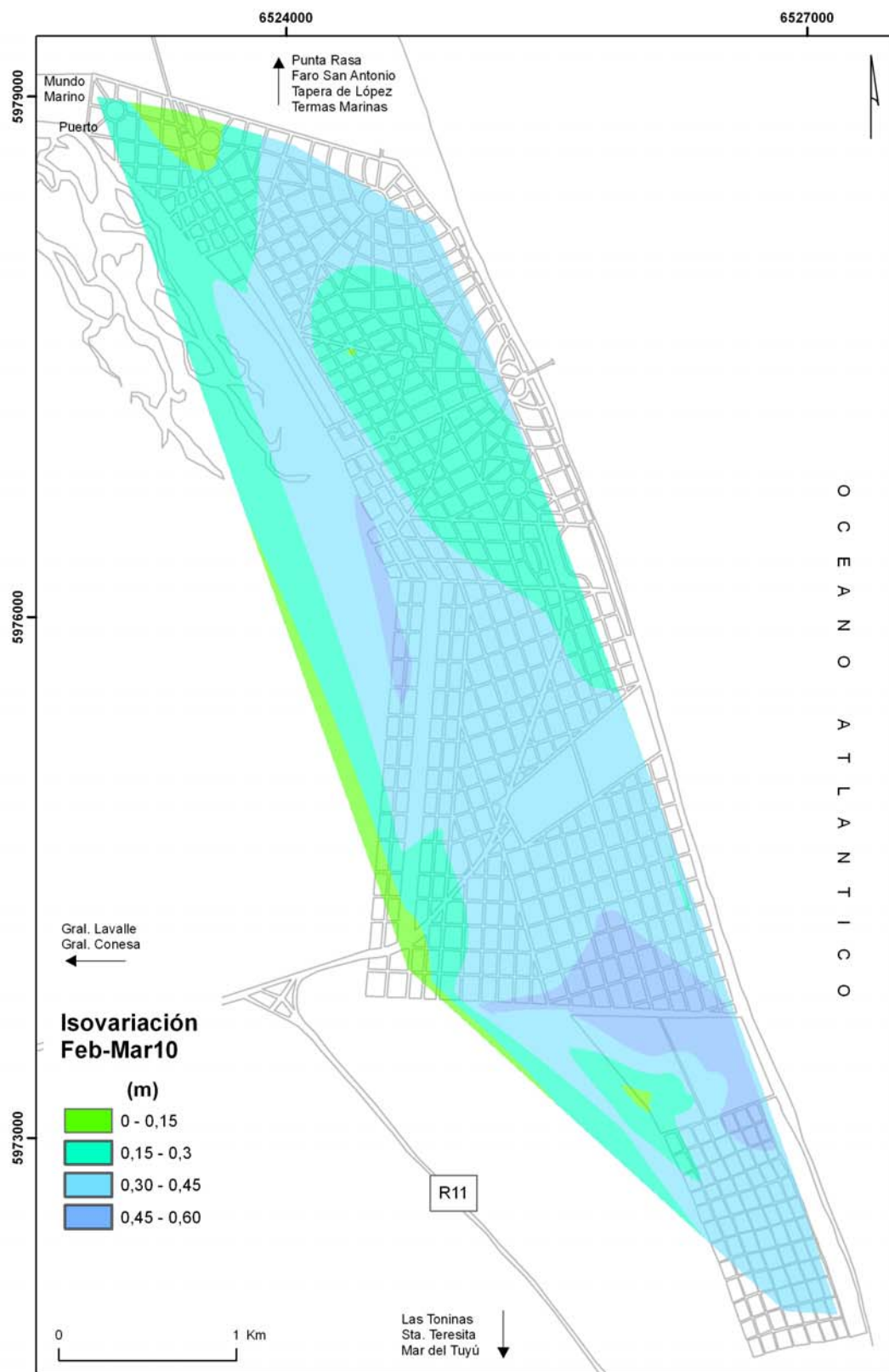


Figura 24. Mapa de isovariación de niveles freáticos para febrero-marzo 2010

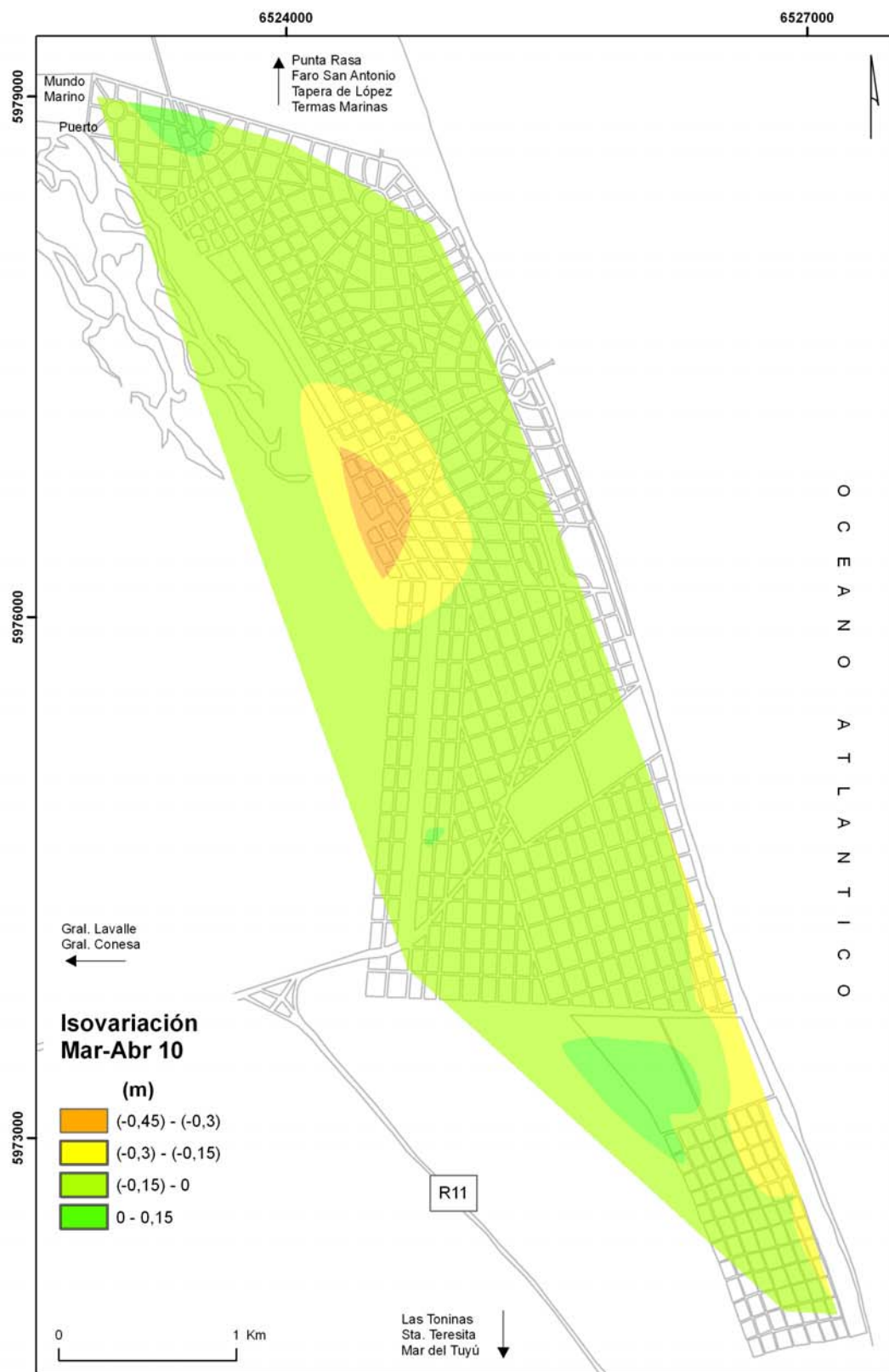


Figura 25. Mapa de isovariación de niveles freáticos para marzo-abril 2010

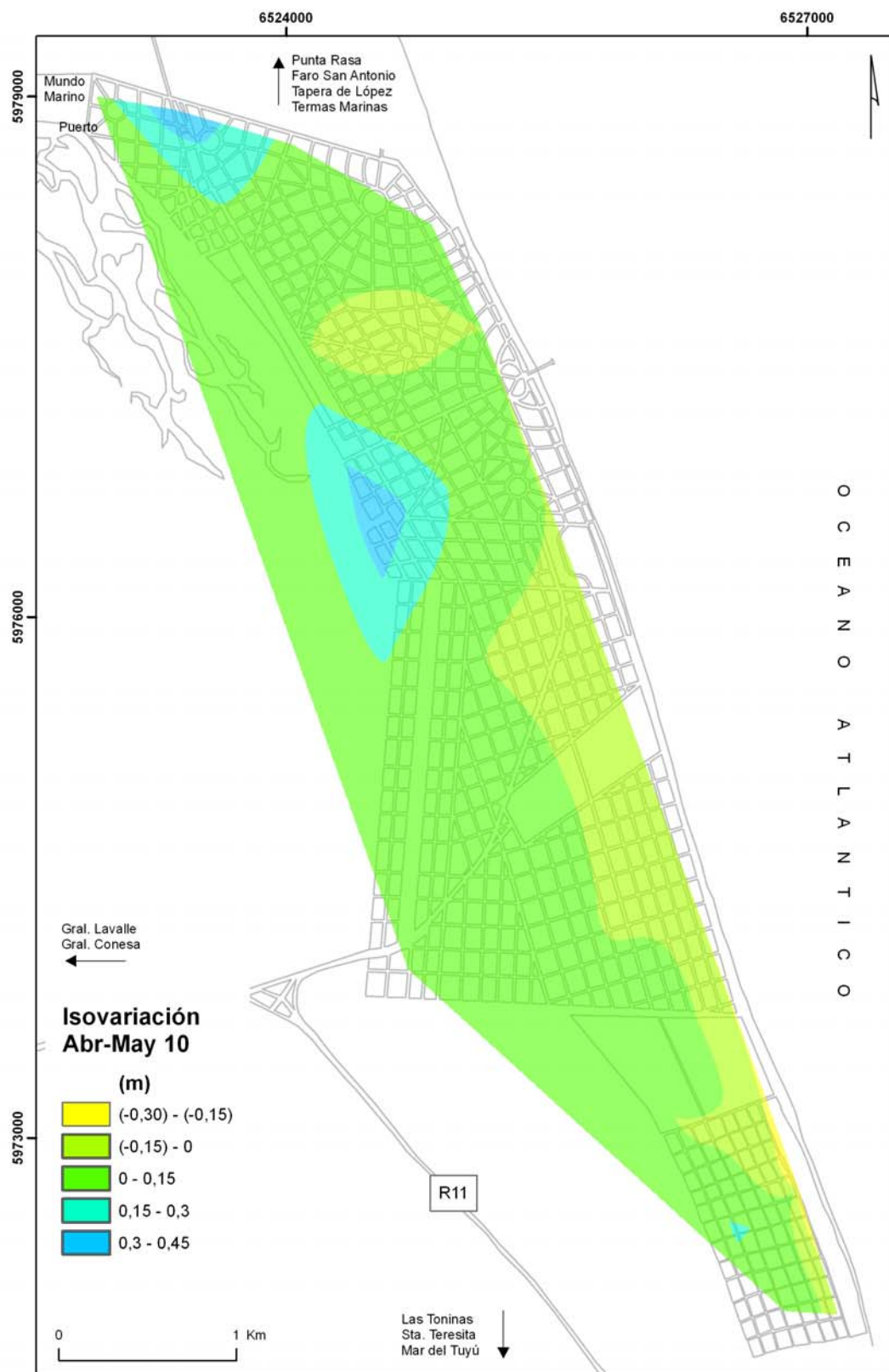


Figura 26. Mapa de isovariación de niveles freáticos para abril-mayo 2010

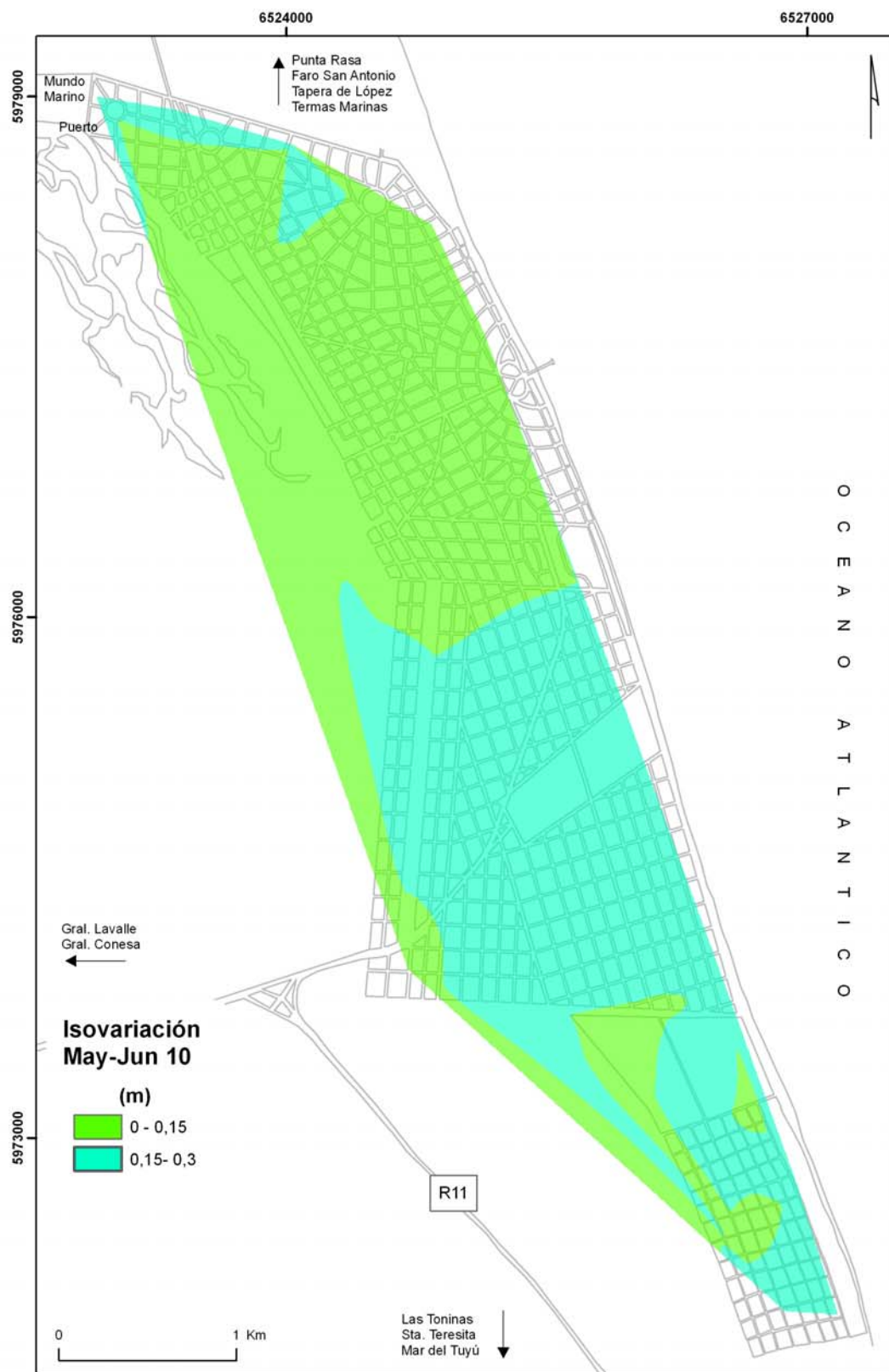


Figura 27. Mapa de isovariación de niveles freáticos para mayo-junio 2010

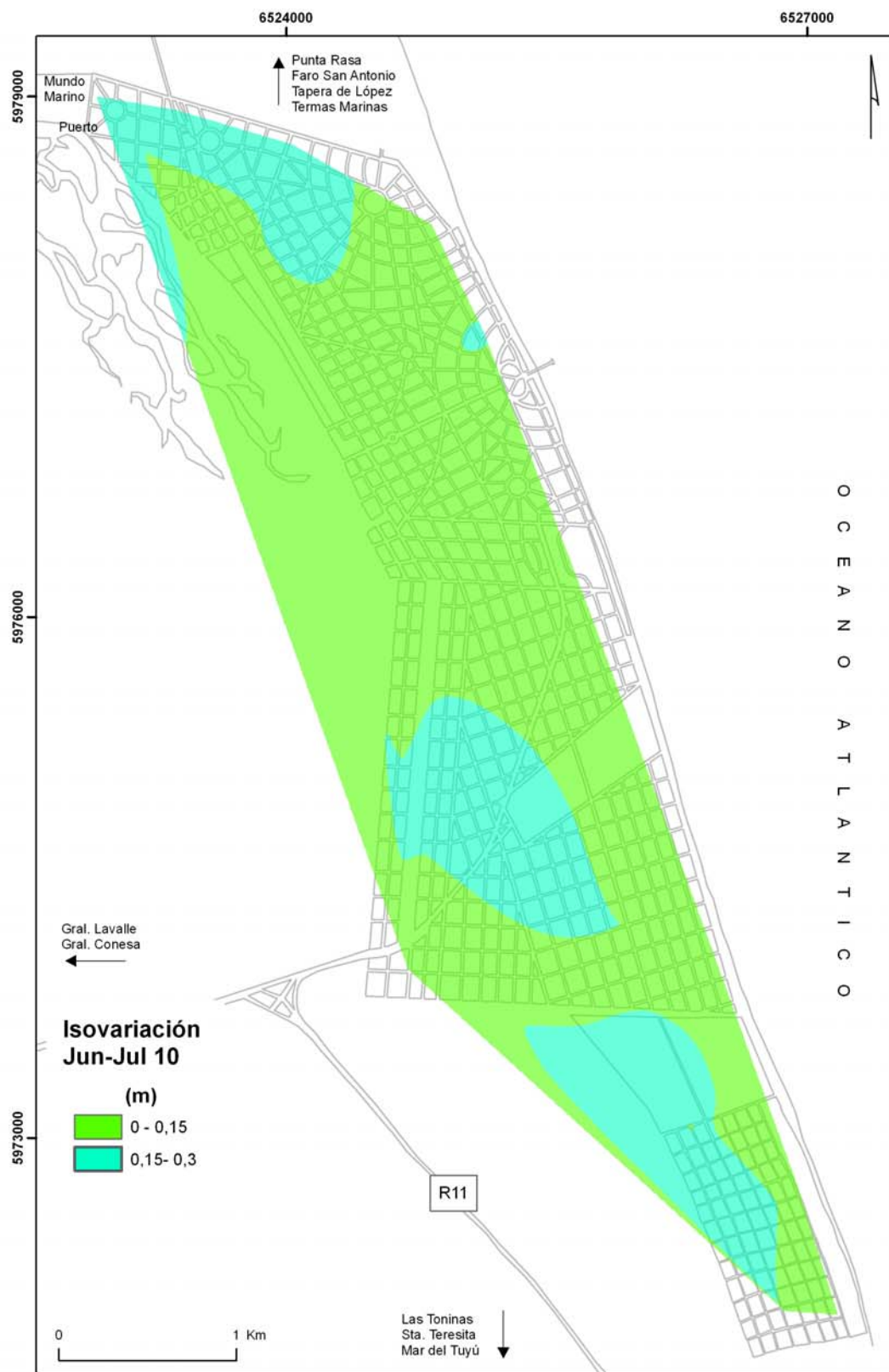


Figura 28. Mapa de isovariación de niveles freáticos para junio-julio 2010

ANEXO 9

MAPAS HIDROQUÍMICOS

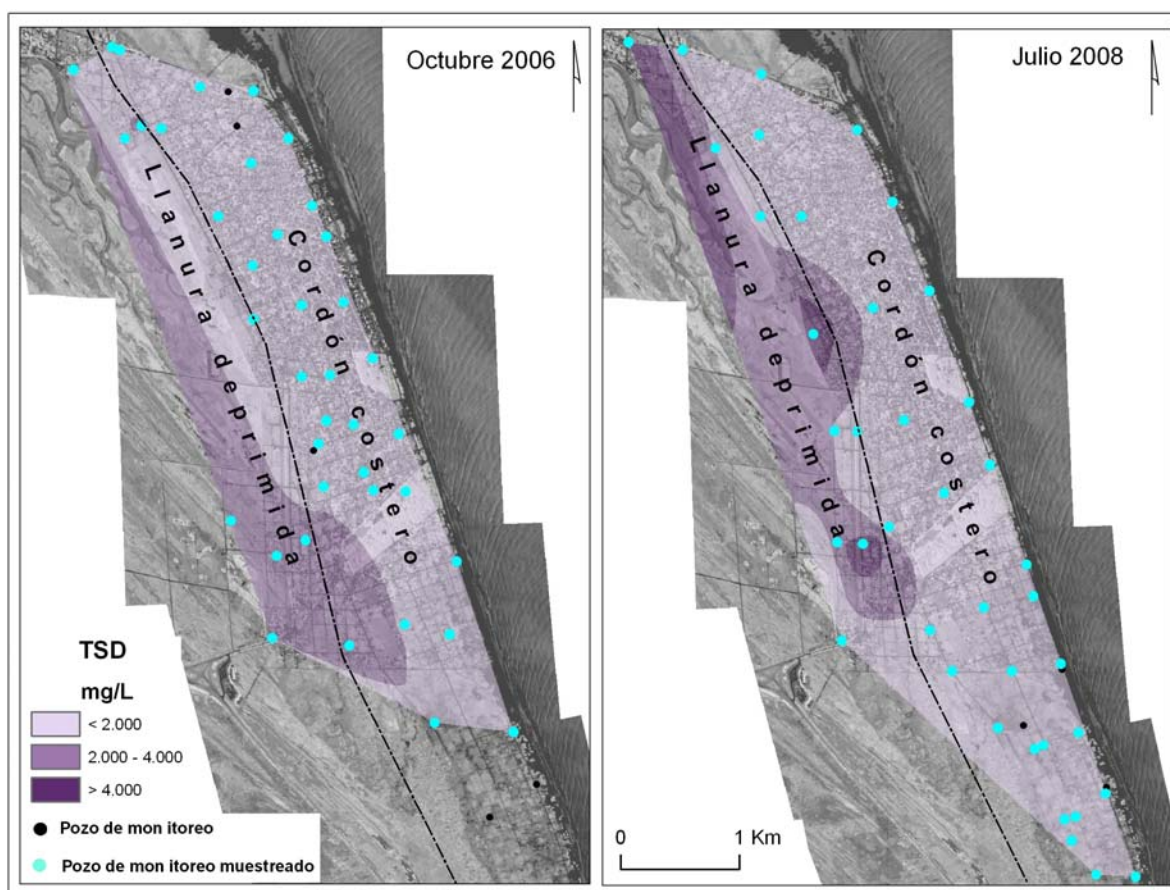


Figura 1. Distribución de los sólidos totales disueltos (TSD)

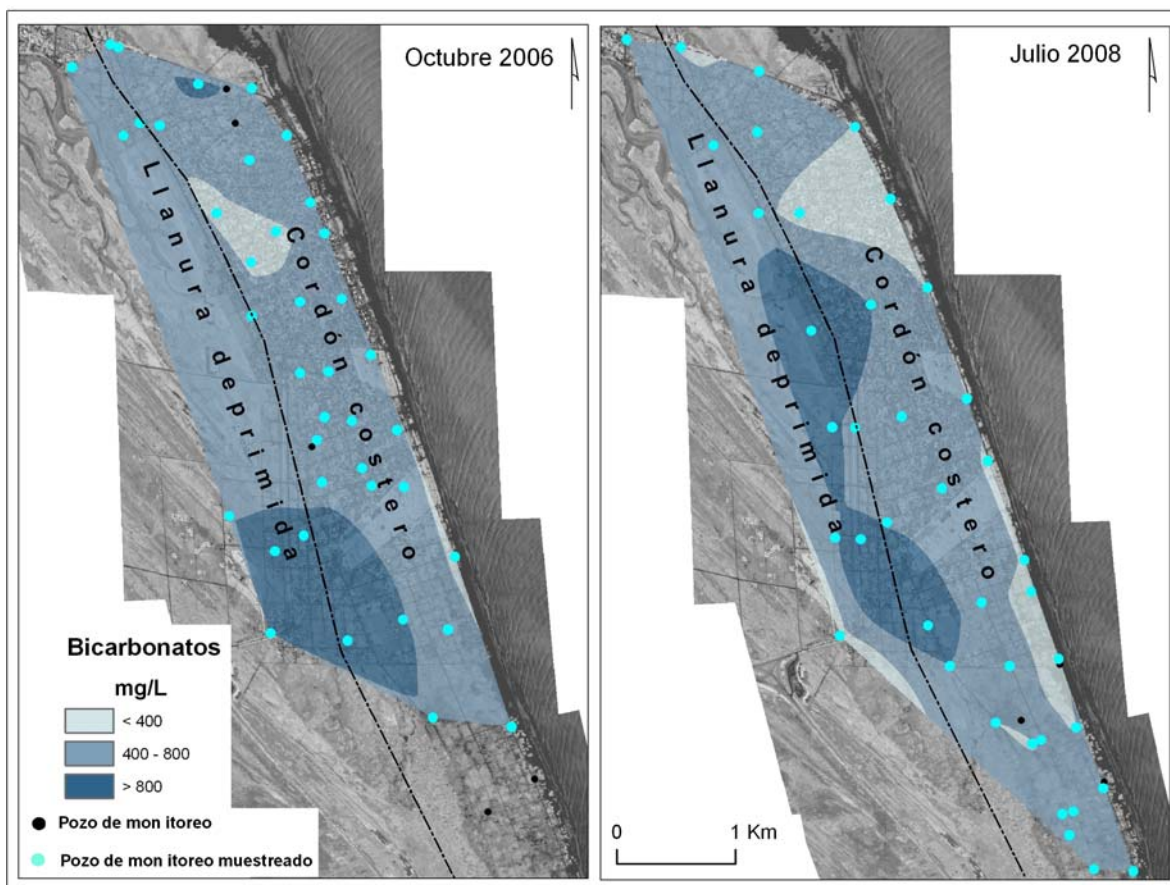


Figura 2. Distribución de los bicarbonatos

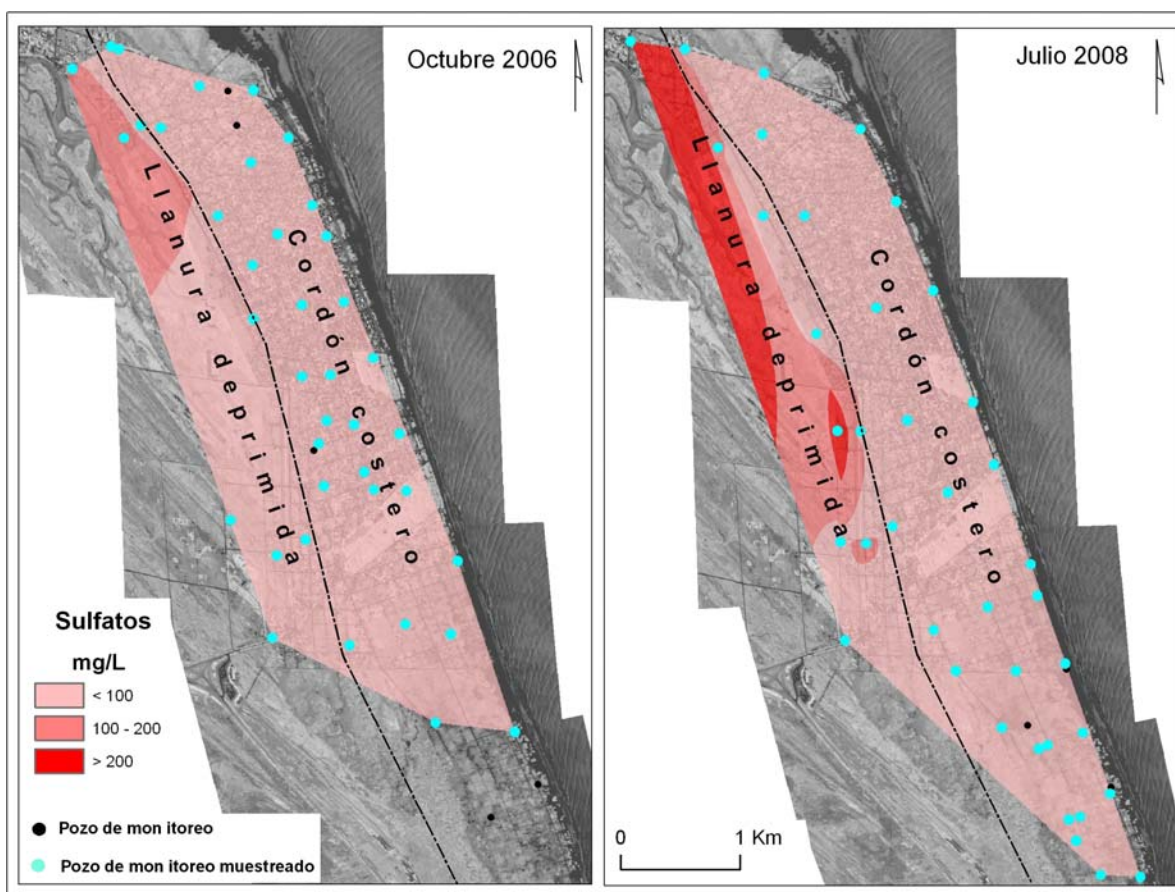


Figura 3. Distribución de los sulfatos

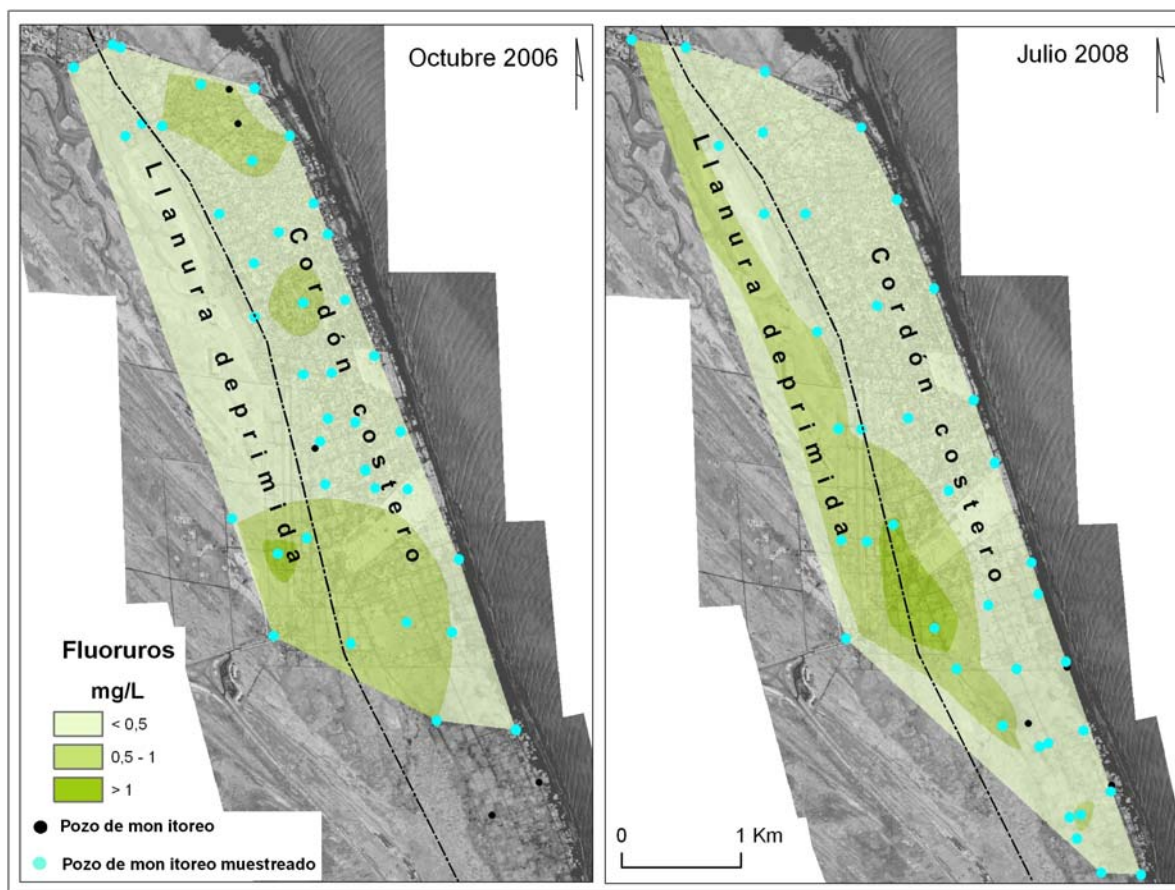


Figura 4. Distribución de los fluoruros

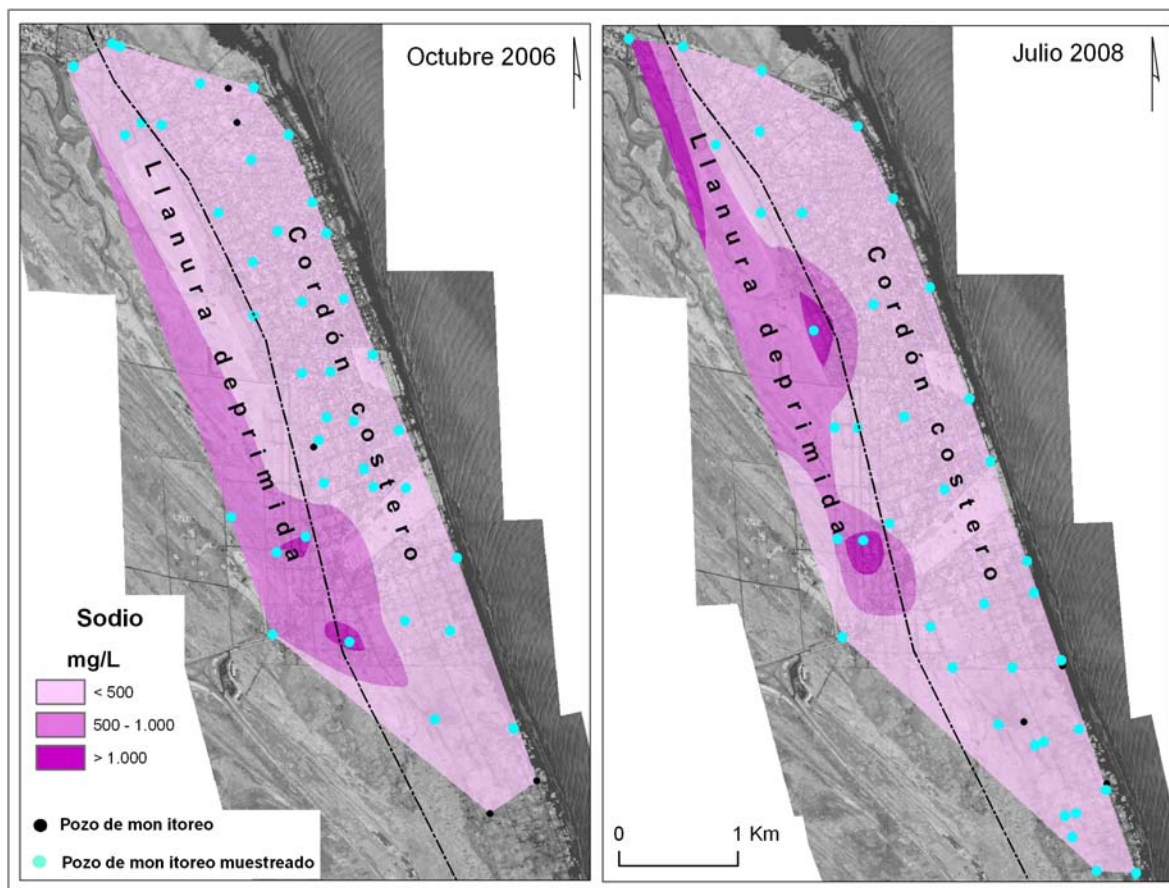


Figura 5. Distribución del sodio

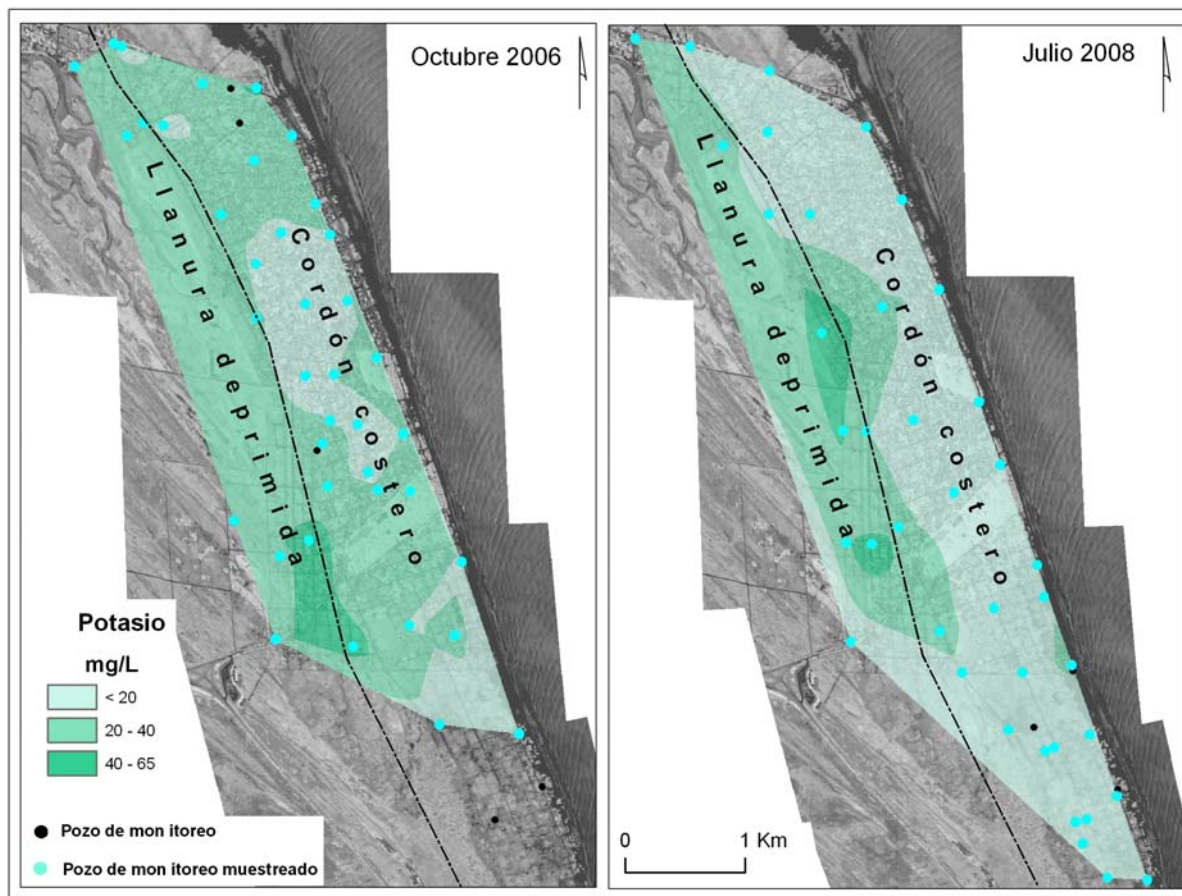


Figura 6. Distribución del potasio

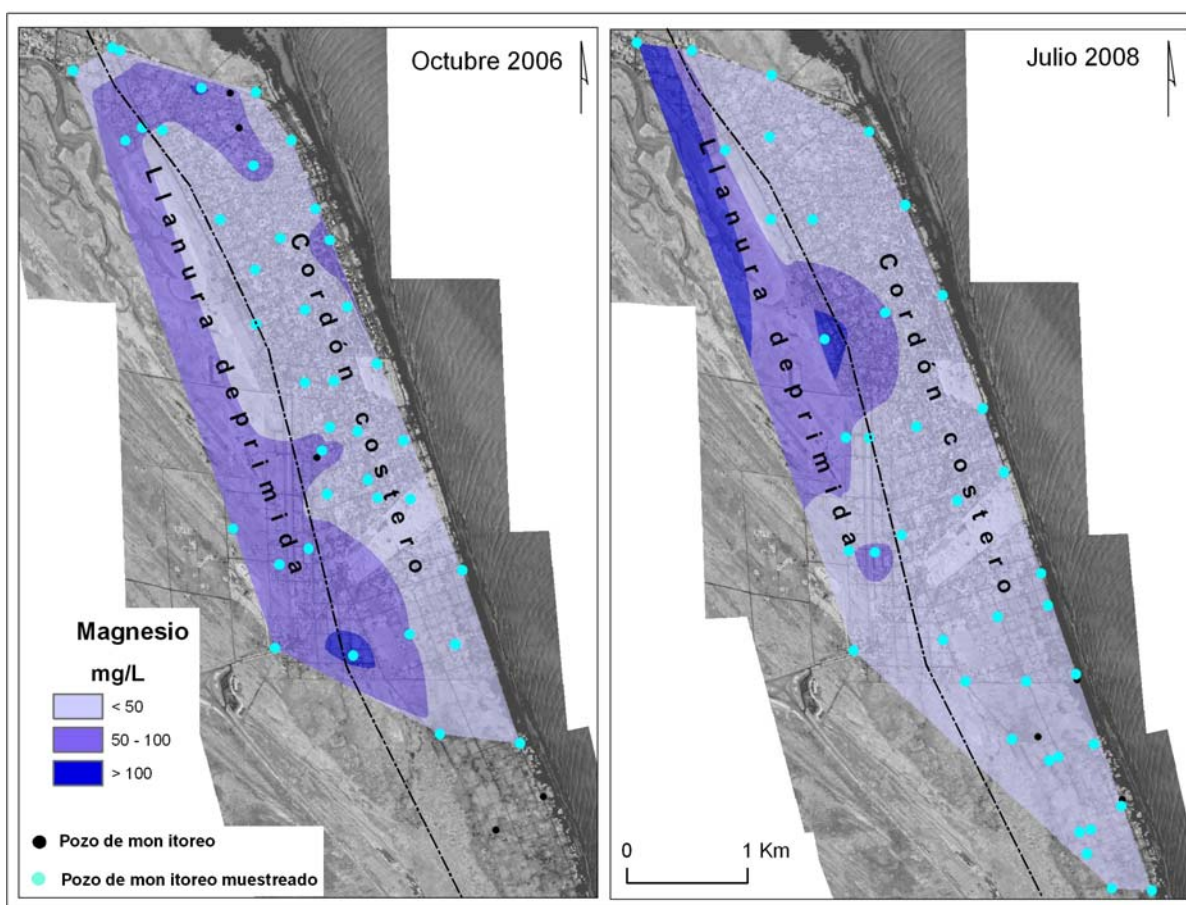


Figura 7. Distribución del magnesio

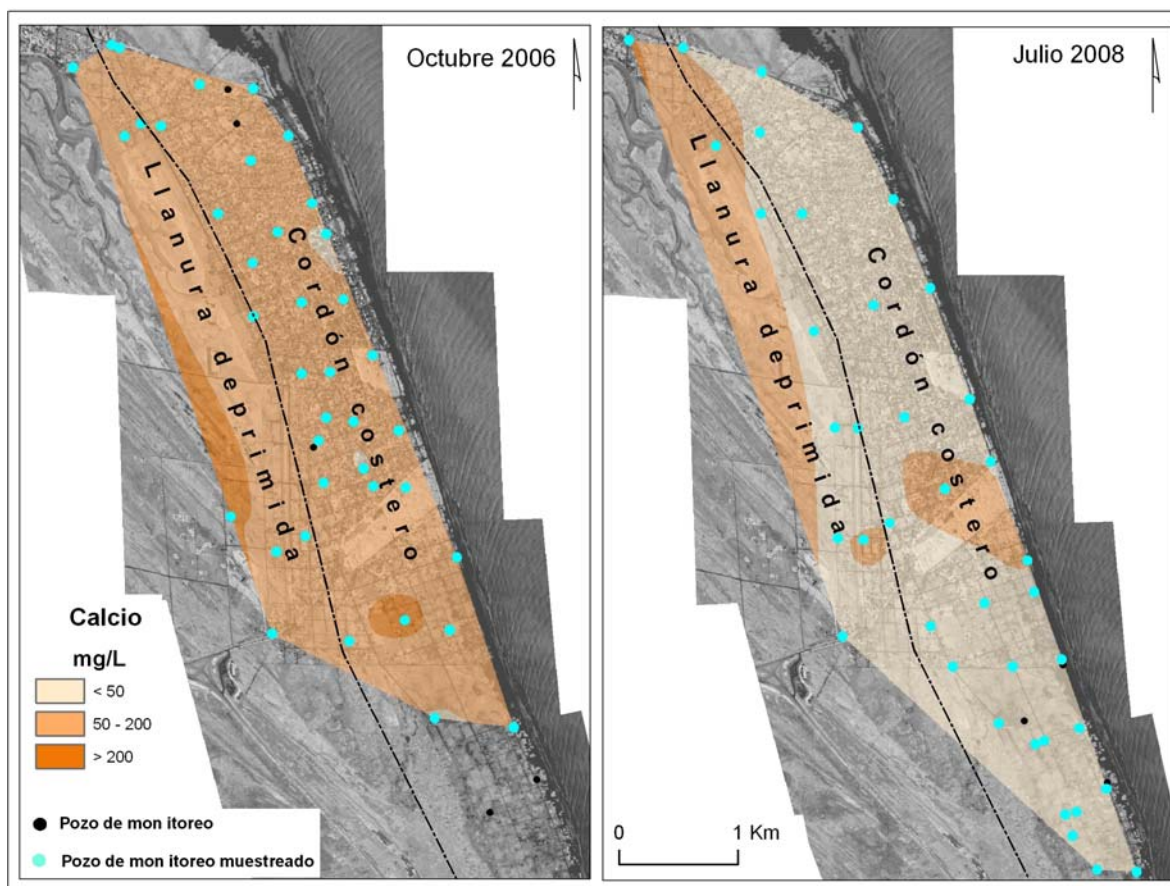


Figura 8. Distribución del calcio

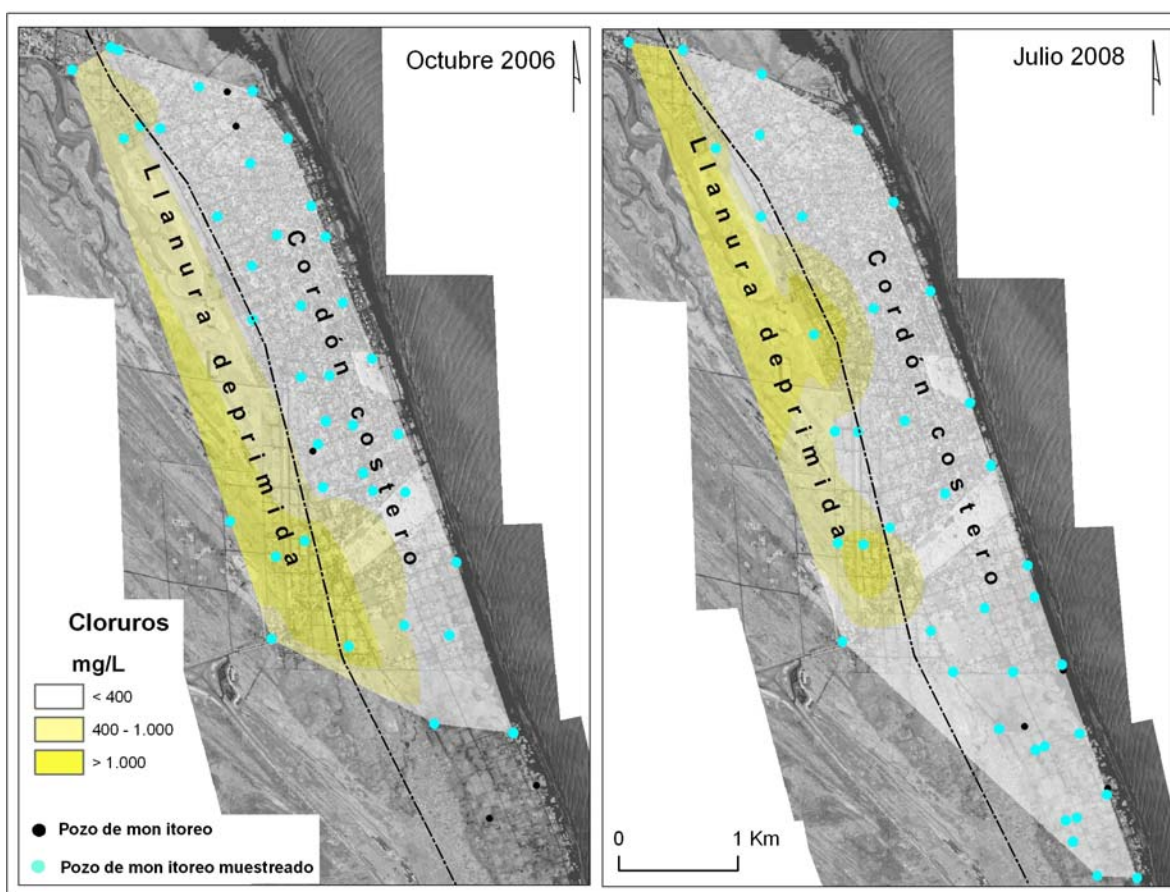


Figura 9. Distribución de los cloruros

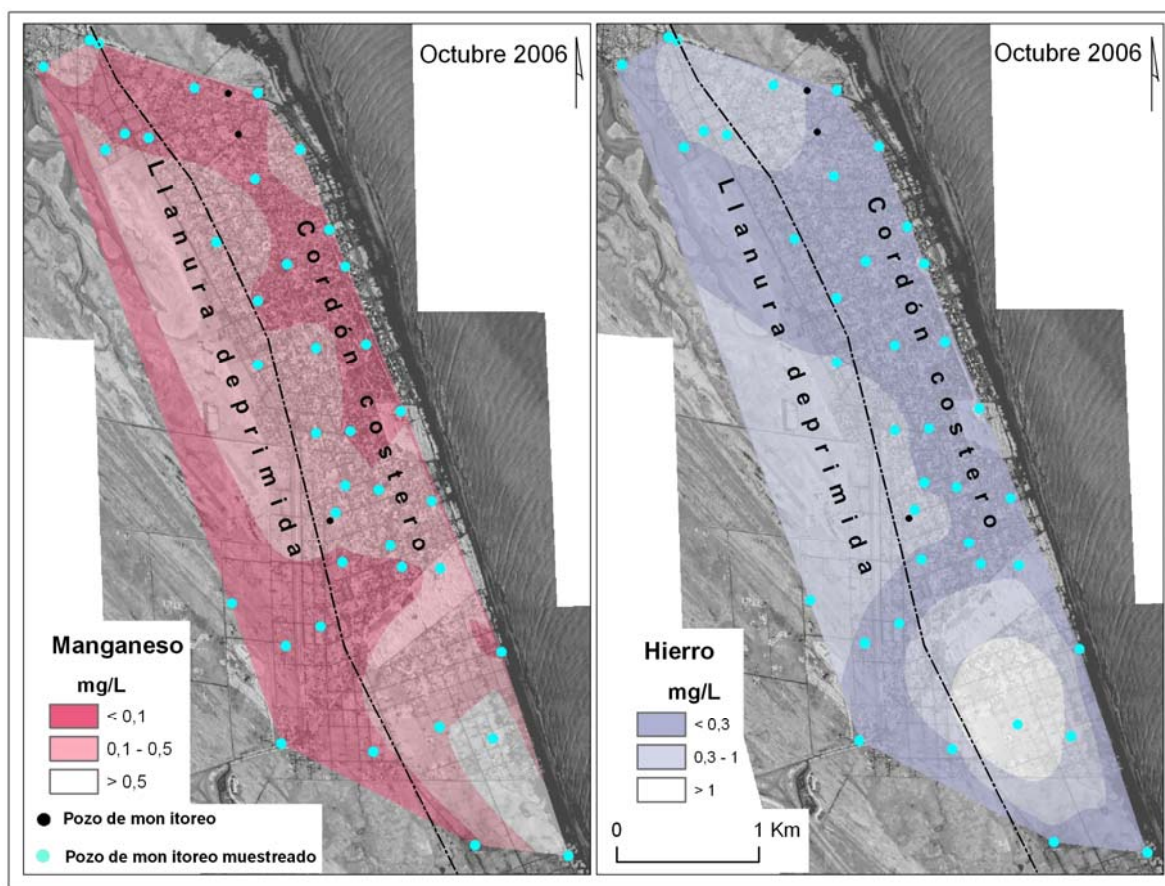


Figura 10. Distribución del manganeso y el hierro